



# Ciência, Desenvolvimento e Inovação na Engenharia e Agronomia Brasileira

v.3 2019

# **Ciência, Desenvolvimento e Inovação na Engenharia e Agronomia Brasileira v.3**

C4902 Ciência, Desenvolvimento e Inovação na Engenharia e Agronomia Brasileira v.3/ Organizadores: Francisco et al.

— Campina Grande: EPGRAF, 2019.  
159 f.: il. color.

ISBN: 978-85-60307-52-4

1. Engenharias. 2. Desenvolvimento Tecnológico. 3. Ideias Inovadoras. 4. Difusão. I. Francisco, Paulo Roberto Megna. II. Furtado, Dermeval Araújo. III. Ferreira, Aline Costa. IV. Título.

CDU 62

Os capítulos ou materiais publicados são de inteira responsabilidade de seus autores. As opiniões neles emitidas não exprimem, necessariamente, o ponto de vista do Editor responsável. Sua reprodução parcial está autorizada desde que cite a fonte.

#### **Créditos de Imagens da Capa**

Freepick.com

#### **Editoração, Revisão e Arte da Capa**

Paulo Roberto Megna Francisco

#### **Conselho Editorial**

Djail Santos (CCA-UEPB)  
Dermeval Araújo Furtado (CTRN-UFCG)  
George do Nascimento Ribeiro (CDSA-UFCG)  
Josivanda Palmeira Gomes (CTRN-UFCG)  
João Miguel de Moraes Neto (CTRN-UFCG)  
José Wallace Barbosa do Nascimento (CTRN-UFCG)  
Juarez Paz Pedroza (CTRN-UFCG)  
Lúcia Helena Garófalo Chaves (CTRN-UFCG)  
Luciano Marcelo Fallé Saboya (CTRN-UFCG)  
Paulo da Costa Medeiros (CDSA-UFCG)  
Paulo Roberto Megna Francisco (CTRN-UFCG)  
Soahd Arruda Rached Farias (CTRN-UFCG)  
Virgínia Mirtes de Alcântara Silva (CTRN-UFCG)

Paulo Roberto Megna Francisco  
Dermeval Araújo Furtado  
Aline Costa Ferreira  
(Organizadores)

**Ciência, Desenvolvimento e Inovação  
na Engenharia e Agronomia Brasileira  
v.3**



### Realização

**Portal Tecnológico  
de Divulgação Científica**  
Eventos, Pesquisas e Inovação



### Apoio



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO PIAUÍ



**SUMÁRIO**

**Capítulo 1** ..... 6  
*DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE SEMEADORA-ADUBADORA PARA O SISTEMA DE CAMALHÃO*..... 6

**Capítulo 2** ..... 18  
*AValiação DA ESTRATÉGIa DE CONTROLE PI-FUZZY EM UM MÓDULO DIDÁTICO DE VAZÃO E NÍVEL* ..... 18

**Capítulo 3** ..... 34  
*ADUBAÇÃO ORGÂNICA COMO ATENUANTE DO ESTRESSE SALINO DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO NO CULTIVO DE CENOURA*..... 34

**Capítulo 4** ..... 43  
*UTILIZAÇÃO DA SÉRIE DE FOURIER PARA CARACTERIZAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DOS MUNICÍPIOS DE LAGOA SECA E ALAGOA NOVA-PB*..... 43

**Capítulo 5** ..... 53  
*EFEITO DO INOCULANTE GEOFIX GRAMÍNEAS (*Azospirillum brasilense*) EM SORGO SILAGEIRO ASSOCIADO ÀS DOSES DE NITROGÊNIO*..... 53

**Capítulo 6** ..... 58  
*ASSOCIAÇÕES DE FUNGICIDAS PARA O MANEJO DE *Phakopsora pachyrhizi** ..... 58

**Capítulo 7** ..... 66  
*UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE SCHEELITA EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO EM PAVIMENTO INTERTRAVADO*..... 66

**Capítulo 8** ..... 76  
*ANÁLISE DA EMISSÃO DE GASES EM MOTORES DIESEL COM O USO DE BIODIESEL DE PALMA, ÓLEO DE PALMA E ÓLEO DIESEL*..... 76

**Capítulo 9** ..... 84  
*USO DE GEOTECNOLOGIAS APLICADAS NA IDENTIFICAÇÃO DA QUALIDADE DE VIDA DA POPULAÇÃO DO MUNICÍPIO DE PORTO XAVIER, RS*..... 84

**SEÇÃO PREMIADOS CONTECC'2019** ..... 100

**Capítulo 10**..... 101  
*TT ILPF – CONSTRUINDO CAPACIDADES E INOVANDO NO SETOR PRODUTIVO DO TOCANTINS E SUL DO PARÁ* ..... 101

**Capítulo 11**..... 110  
*MAPEAMENTO DA COBERTURA VEGETAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO RIO PARAÍBA UTILIZANDO GEOTECNOLOGIAS* ..... 110

**Capítulo 12**..... 115  
*NECESSIDADE TÉRMICA DE MUDAS DE PIMENTÃO CULTIVADAS EM ESTUFA* ..... 115

**Capítulo 13**..... 124  
*MAPEAMENTO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO PARA A BANANA NO MUNICÍPIO DE BARBALHA-CEARÁ*..... 124

**Capítulo 14**..... 132  
*INFLUÊNCIA DA BENTONITA E MB4 NA ACIDEZ POTENCIAL, pH E CAPACIDADE DE TROCA CATIONICA DO SOLO*..... 132

**Capítulo 15**..... 138  
*MAPEAMENTO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTE DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE PALMAS-TO* ..... 138

**Capítulo 16**..... 152  
*ALIMENTOS TRADICIONAIS: SEGMENTAÇÃO DE PRODUTORES DE BEIJU EM FEIRA DE SANTANA-BAHIA*... 152

**Curriculum dos Organizadores** ..... 159

## Capítulo 1

# DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE SEMEADORA-ADUBADORA PARA O SISTEMA DE CAMALHÃO

**Elivânia Maria Sousa Nascimento<sup>1</sup>**  
**Carlos Alessandro Chioderoli<sup>2</sup>**  
**Alessandro Marques Maia<sup>3</sup>**  
**Rita de Cássia Peres Borges<sup>4</sup>**  
**Isabela Oliveira Lima<sup>5</sup>**  
**Jean Lucas Pereira Oliveira<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>Dra. em Eng. de Sistemas Agrícolas, UFC, Fortaleza-CE, elivania\_sousa@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Dr. Prof. Adjunto, UFTM, Iturama-MG, ca.chioderoli@gmail.com.br

<sup>3</sup>Prof. Ensino Técnico, IFCE, Limoeiro do Norte-CE, alessandro.maia@ifce.edu.br

<sup>4</sup>Mestranda em Eng. de Sistemas Agrícolas, UFC, Fortaleza-CE, acassiaperes@yahoo.com.br

<sup>5</sup>Doutoranda em Eng. de Sistemas Agrícolas, Fortaleza-CE, isabelaoliveiralima@yahoo.com.br

<sup>6</sup>Mestrando em Agronomia, UNESP, Jaboticabal-SP, jean07lucasagro@gmail.com

## Introdução

A agricultura praticada pela maioria dos pequenos agricultores da região semiárida nordestina, tem como característica marcante o baixo nível tecnológico predominando práticas agrícolas tradicionais de preparo de solo (IPEA, 2012). No que se refere ao uso de máquinas agrícolas no semiárido, sabe-se que, os equipamentos tradicionais como trator, grade, arado, subsoladores e semeadoras são utilizados sem levar em conta as características do solo (SDA, 2010).

A agricultura familiar por meio do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) tem ampliado a mecanização no campo, por meio da compra de equipamentos destinados a agricultura familiar, no entanto, há uma carência de máquinas de baixa potência apropriados às condições desses agricultores (MACHADO et al., 2010).

Segundo a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA), o setor em questão registrou, apenas no último ano, um aumento em torno de 45% nas vendas de tratores, da linha destinada à agricultura familiar com tratores de 15 até 75 cv. Já os implementos disponíveis para ser utilizados por esses tratores provêm de fabricantes de pequeno porte, o que gera insegurança sobre vários aspectos. A necessidade de criação e/ou adaptação de máquinas específicas que atendam às necessidades dessa categoria, tem sido a forma de contribuir para o aumento da produtividade das principais culturas (NASCIMENTO, 2019).

A semeadura é considerada uma das etapas mais importantes no sistema de produção (ALMEIDA et al., 2010). Quando bem

realizada, pode propiciar boa germinação, emergência e desenvolvimento das plântulas. Está relacionada com vários fatores, podendo ser destacado a máquina que irá distribuir as sementes e executar a operação (FURLANI et al., 2013). A formação de camalhões em áreas agrícolas é muito comum, porém, sua formação pode ter objetivos diferentes dependendo da região ou local. Em regiões com escassez hídricas, como o nordeste brasileiro, sua construção pode ser efetuada para captação de água da chuva e conservação do solo, já, em solos com problemas de drenagem e áreas de várzeas, para escoamento da água e aeração do solo (MARTINS & NOGUEIRA, 2015).

O desenvolvimento de um determinado produto, até chegar à produção em escala comercial, envolve toda uma série de atividades como projeto preliminar, detalhamento, análise, planejamento da produção, produção, controle de qualidade e assistência ao usuário (FORCELLINI, 2002; BACK et al., 2008). Como alternativa ao método empírico, propõe-se o modelo de fases de Pahl et al. (2005) que divide o processo de desenvolvimento de produto em quatro fases, planejamento e esclarecimento da tarefa, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado.

O projeto informacional consiste na análise detalhada do problema de projeto, buscando-se todas as informações necessárias ao pleno entendimento do problema (REIS & FORCELLINI, 2002). Na fase do projeto informacional ficam definidos as fases do ciclo de vida do produto e seus clientes (externos, internos e intermediários), assim como suas necessidades, a estas são conferidos atributos, submetidas à checklists e hierarquizadas, dando

origem às especificações de projeto, que vem a serem características do produto, com seu valor meta, sua forma de avaliação e seus aspectos indesejados (FONSECA, 2000; REIS, 2003; MENEGATTI, 2004; BACK et al., 2008).

A fase de projeto conceitual é onde ocorre a concepção do produto, por meio da busca, criação, representação e seleção de soluções (ROZENFELD et al., 2006). Esta é a fase com maior potencial de otimização de retorno do investimento, representando baixo custo e alto benefício (BAXTER, 2000). Na fase de concepção de um novo produto, diversas metodologias podem ser utilizadas para gerar ideias, entre elas podemos citar o brainstorming, analogia direta, método da instigação de questões, análise de sistemas técnicos conhecidos, matriz morfológica, método de Dephi, método sintético, método da listagem de atributos entre outros (BAXTER, 2000; ROZENFELD et al., 2006; BACK et al., 2008).

Na fase do projeto preliminar o modelo do produto evolui da concepção ao leiaute definitivo (PAHL & BEITZ, 1996). Nessa etapa há o emprego de listas de verificação que estabelecem os princípios a serem observados e métodos de projeto para atender necessidades específicas (BACK et al., 2008). O projeto detalhado tem como objetivo a aprovação do protótipo, finalização das especificações dos seus componentes e o detalhamento do plano de manufatura, dentre outros (OGLIARI et al., 2013).

Tratando-se de semeadoras-adubadoras, existem no mercado diferentes modelos, porém, geralmente são equipamentos de grande porte com necessidade de elevada potência de acionamento, que não favorecem o pequeno agricultor (SILVA et al., 2007; TEIXEIRA, 2008; STEFANELLO, 2013), deixando uma lacuna no desenvolvimento de máquinas agrícolas para os pequenos agricultores, principalmente, em relação à adequação às suas necessidades específicas e ao custo de aquisição (ROMEIRO FILHO, 2012; NIEMCZEWSKI, 2012) fazendo com que, os mesmos desenvolvam equipamentos que atendam às suas necessidades, com limitações tecnológicas e sem uma base metodológica de projeto adequada (IPEA, 2015).

Como existem poucos estudos voltados para a mecanização agrícola no semiárido, é necessário à inclusão de tecnologias inovadoras que contribua com a elevação da qualidade do trabalho agrícola desenvolvidas pelo pequeno produtor. A necessidade de criação e/ou

adaptação de máquinas específicas que atendam às necessidades dessa categoria tem sido a forma de contribuir para o aumento da produtividade das principais culturas. Assim, objetiva-se com este trabalho o desenvolvimento de um protótipo de semeadora-adubadora para o sistema de camalhão com a função de realizar o processo de abertura do sulco, formação do camalhão, distribuição e deposição de fertilizantes e sementes, em operação única, levando em consideração as condições de manejo de solo do semiárido brasileiro.

### Material e Métodos

Para a execução das fases de projeto montou-se uma equipe composta por docentes e discentes do Núcleo de Integração em Mecanização e Projetos de Máquinas (NIMPA) do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará. O desenvolvimento da semeadora-adubadora para o sistema de camalhão foi baseado na metodologia de projeto proposta por Pahl et al. (2005), envolvendo as fases de projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado e adaptados conforme necessidades do projeto.

O ponto de partida do projeto informacional foi identificar o problema que deu origem à necessidade de desenvolvimento de um novo produto (BAXTER, 2000). Pensando no nível tecnológico da agricultura familiar, sabendo de suas limitações quanto a operações de preparo do solo, e associando isso a agricultura praticada no semiárido, ao qual a semeadura das principais culturas, milho e feijão, ocorrem no período chuvoso, buscou-se desenvolver um produto que realizasse a semeadura no sistema de camalhão, e que o sulco formado durante o processo de semeadura fosse utilizado para captação de água e conservação do solo. O esclarecimento da formulação da tarefa destinou-se à coleta de informações sobre os requisitos necessários para o funcionamento do protótipo a ser desenvolvido para agricultura familiar com a função de realizar o processo de semeadura do milho no sistema de camalhão. Em seguida, passou-se a identificação das necessidades dos clientes (externos, intermediários e internos) e inseri-los dentro do ciclo de vida do produto (FONSECA, 2000). Os clientes externos são os destinatários do produto, os intermediários são aqueles que adquirem os produtos para revenda ou para industrialização e os internos

são as unidades produtoras. O ciclo de vida foi efetuado por meio de levantamentos bibliográficos e brainstorming permitindo obter informações sobre as necessidades do mercado consumidor, desde a fabricação até o descarte (ZARDO et al., 2016). As necessidades dos clientes externos foram identificadas por meio de pesquisa bibliográfica técnica disponível em catálogos de produtos, artigos científicos, teses, dissertações, patentes, análise de sistemas técnicos. Com relação aos clientes internos e intermediários foram identificadas limitações quanto ao processo de fabricação e disponibilidade de materiais por meio de revisão bibliográfica ficando a critério da equipe de projeto identificar essas necessidades. Em seguida, listaram-se os requisitos e especificação da semeadora-adubadora. Atentou-se para requisitos que atendessem os princípios do sistema semeadura convencional na cultura do milho.

No projeto conceitual verificou-se o escopo do problema, analisando as

especificações, identificando as restrições do projeto no sentido de selecionar a concepção mais adequada para a realização das tarefas propostas (Figura 1). Definido o escopo do problema de abrir o sulco no solo, formar o camalhão e realizar o processo de semeadura, partiu-se para a busca de combinar princípios de soluções, de modo a atender o escopo do problema. Os métodos usados na busca de princípios de solução foram convencionais (pesquisa bibliográfica, análise de sistemas técnicos existentes), intuitivos (brainstorming) e discursivos (matriz morfológica). Na fase de concepção do produto, utilizou-se o método da matriz morfológica que consiste de uma tabela onde são listadas as funções necessárias no produto a ser projetado e ao lado dessas funções são citadas em forma de esboço as soluções possíveis para que seja suprida aquela função (PAHL et al., 2005). O resultado dessa fase foi o conceito da máquina.

1º passo	2º passo	3º passo	4º passo	5º passo
Dosagem recomendada	Dosagem recomendada	Dosar adubo	Dosagem do adubo	Abrir o sulco no solo para formação do camalhão e realizar o processo de semeadura
Variação da abertura do sulco	Variação da abertura do sulco	Abertura do sulco	Abertura do sulco e formação do camalhão	
Custo de fabricação	Altura do camalhão	Formação do camalhão	Dosagem de semente	
Densidade de semeadura	Densidade de semeadura	Dosar semente		
Intervalo de manutenção				
Duração da regulagem				
Custo de Produção				

Figura 1. Esquema montado para verificação do escopo do problema.  
 Fonte: Adaptado de Pahl et al. (2005).

Com a concepção da máquina desenvolvida, as especificações e os requisitos de projeto estabelecidos, iniciou-se o projeto preliminar com a realização de leiaute para cada estrutura funcional, entre os quais foi selecionado o melhor para cada função, adotando como critério básico a facilidade de fabricação (PAHL & BEITZ, 1996). O projeto

detalhado iniciou-se com a preparação dos desenhos detalhados das peças que foram fabricados, definindo suas dimensões e tipos de materiais de fabricação (ROZENFELD et al., 2006). Nessa fase também foi realizado a construção e a validação da máquina em campo. Os testes foram realizados na área experimental da Fazenda Experimental Vale do

Curu, Pentecoste-CE, em Planossolo de textura franco-arenosa (EMBRAPA, 2013). Antes da semeadura, o preparo de solo foi realizado com gradagem leve. O protótipo da semeadora-adubadora foi constituído de dois dispositivos abridores de sulco, duas linhas de semeadura, espaçadas de 0,90 m entre linhas, reservatórios de semente e adubo com capacidade volumétrica de 20 kg (20 L), densidade de semeadura de 4 a 5 sementes  $m^{-1}$ , densidade do adubo de 7,9  $g\ m^{-1}$  e disco dosador de sementes de 27 furos. A semeadora-adubadora foi tracionada por trator Massey Ferguson modelo MF265 4 x 2, 47,8 kW (65 cv), pneus diagonais, eixo dianteiro 6.00-16 F2 com pressão de inflação de 46 psi (317,15 kPa) e eixo traseiro 14.4-30 com pressão de inflação de 11 psi (75,84 kPa). No momento da avaliação, o teor de umidade do solo era de 18,02% e a resistência mecânica do solo à penetração de 1,28 MPa.

O delineamento experimental foi conduzido em faixas com quatro repetições. A semeadura foi realizada no sulco e em cima do camalhão utilizando a velocidade de deslocamento de 5,05  $km\ h^{-1}$ . Cada faixa foi constituída com dimensões de 30 x 2 m, sendo, as avaliações realizadas na área útil de 20 m. As variáveis avaliadas foram a profundidade de deposição de semente e adubo, profundidade do sulco e altura do camalhão. Durante os ensaios, o reservatório de adubo e semente operou com 50% de sua capacidade volumétrica conforme as recomendações da ABNT (1994) e Mialhe (1996).

As medições da profundidade de deposição de semente e adubo foram realizadas após a passagem do conjunto mecanizado nas

parcelas, determinando-se conforme metodologia de Baker et al. (1997). A profundidade do sulco e altura do camalhão foi determinada medindo-se do fundo do sulco até o topo da base do camalhão. Para cada variável foram realizadas 30 medições constituindo os 30 pontos amostrais. O Controle Estatístico do Processo (CEP) foi utilizado para avaliar a qualidade do processo utilizando-se como ferramenta de cartas de controle para valores individuais e de amplitude móvel, de modo a permitir a verificação da estabilidade do processo, aos dados que não apresentaram normalidade utilizou-se a Média Móvel Exponencial Ponderada (MMEP) para avaliar a variabilidade que ocorreu entre as médias (MONTGOMERY, 2013).

### Resultados e Discussão

As necessidades dos clientes externos foram identificadas em trabalhos desenvolvidos por Morais et al. (2009), Albiero (2010), IBGE (2010), Machado et al. (2010), Guanzirolí et al. (2012), IPEA (2013), Barth et al. (2016) e Maia et al. (2016) onde se buscou verificar as características dos agricultores familiares e inseri-los dentro do ciclo de vida do produto.

Pelos resultados obtidos (Tabela 1), identifica-se a deficiência no que diz respeito a maquinário destinado aos agricultores familiares para executar determinadas tarefas, que são realizadas de forma animal e/ou manual e que, possui grande potencial de mecanização, levando em consideração a cultura, características da região, tipo de solo e manejo.

Tabela 1. Levantamento informacional para concepção da semeadora-adubadora

Ciclo de vida	Clientes	Necessidades dos clientes
Projeto	Internos (Equipe de projeto)	Fabricação simples Peças padronizadas
Produção	Internos (Equipe de projeto)	Proteção das partes móveis Peso leve
Comercialização	Intermediários (Vendedores)	Economicamente viável Formação de camalhão Facilidade de acoplamento
Operação	Externos (Agricultores familiares)	Abertura do sulco Dosagem na medida certa Deposição na profundidade correta Facilidade de transportar
Regulagem	Externos (Agricultores familiares)	Facilidade de regular
Manutenção	Externos (Agricultores familiares)	Simple manutenção Resistente ao desgaste

Albiero et al. (2019) avaliaram o nível tecnológico dos agricultores cearenses e observaram que 77,5% utilizam máquinas simples para o preparo do solo, 12,5% utilizam máquinas para semeadura e 10% utilizam máquinas para o cultivo. Stefanello (2013), Vasconcelos (2013) e Melo (2013) constataram em seus trabalhos que, a baixa utilização de semeadoras mecânicas e o uso elevado de semeadora manual, estão associados a falta deste tipo de equipamento adaptado às pequenas propriedades e ao elevado valor das semeadoras de tração mecânica, contribuindo

para elevação nos custos de produção (STEFANELLO, 2013; VASCONCELOS, 2013; MELO et al., 2013).

A matriz morfológica foi utilizada para a busca dos princípios de solução para os componentes do protótipo (Tabela 2). Priorizaram-se soluções de fácil aquisição comercial e em produtos similares disponíveis no mercado. Para a combinação dos princípios de solução foram concebidas três combinações distintas uma das outras, selecionando-se, portanto, a combinação que mais adequa-se a necessidade do projeto.

Tabela 2. Matriz morfológica para o protótipo da semeadora-adubadora para o sistema de camalhão

Componentes	Conceito					
	1	2	3	4	5	6
Discos abridores de sulco	Discos lisos simples	Discos lisos duplos	Discos recortados	Discos lisos duplos divergentes	Discos lisos duplos convergentes	Discos duplos côncavos
Fixação dos discos ao chassi	Haste com geometria cilíndrica	Haste com geometria reta	Haste com geometria quadrada	Haste com geometria curva		
Regulagem de atuação dos discos	Ângulo Horizontal	Ângulo Vertical	Ângulo Horizontal e Vertical	Sem angulação		
Material dos discos	Ferro fundido	Aço 1020	Aço 1010	Metalon	Plásticos	
Mecanismos distribuidor de fertilizantes	Rotor dentado	Rosca sem fim	Esteiras	Roseta helicoidal	Disco estrela	Centrífugo
Mecanismo dosador de sementes	Correia perfurada	Pneumático	Mecânico	Dedos preensores	Cilindro canelado	Discos perfurados
Reservatórios de fertilizantes e sementes	Individuais	Dois seções	Única seção	Individuais dentro de uma seção		
Posição do dosador de sementes	Vertical	Transversal	Horizontal	Inclinado	Suspensão	
Sistema condutor de adubo e sementes	Tubo telescópio	Tubo sanfonados	Tubo de borracha	PVC	Tubo retangular	Tubo perfil parabólico
Mecanismos para abertura de sulco para deposição de semente/fertilizantes	Disco simples	Facão	Discos duplos	Enxadas	Haste	
Sistema de transmissão	Mistos	Eixo	Engrenagens	Cabo flexível	Corrente	Correia
Compactadores de sementes	Roda dupla angulada	Roda dupla com nervura	Roda Convexa	Discos duplos	Rodas de borracha	Rodas de ferro

A concepção formada é constituída de discos lisos duplos para a realização da abertura do sulco no solo, a fixação dos abridores de sulco ao chassi é realizada por meio de haste com geometria plana. Os discos abridores de sulco

dispõem de regulagem horizontal, vertical e de profundidade fabricados em aço carbono 1020 laminado.

O mecanismo de distribuição de fertilizantes é composto de uma rosca sem fim

para regulação da dosagem de adubo. O mecanismo de distribuição de sementes é constituído de disco dosador perfurado na horizontal.

Os reservatórios de semente e adubo são individualizados numa única seção. O sistema condutor de semente e adubo é constituído de tubo de borracha, sendo que os mecanismos abridores do sulco para deposição de semente e adubo são constituídos de discos duplos desencontrados. Toda transmissão de movimento é efetuada por meio de correntes, engrenagens e cabo flexível, além da roda

compactadora de sementes serem constituída de roda de ferro.

Como o protótipo foi construído com materiais recicláveis, a viabilidade econômica não foi avaliada nessa fase de desenvolvimento. Alguns sistemas que constituem o protótipo foram realizados utilizando modelos comerciais existentes no mercado. Após a definição do conceito do protótipo, pôde-se elaborar o leiaute dos sistemas que compôs o protótipo para realizar o processo de semeadura no sistema de camalhão (Figura 2).

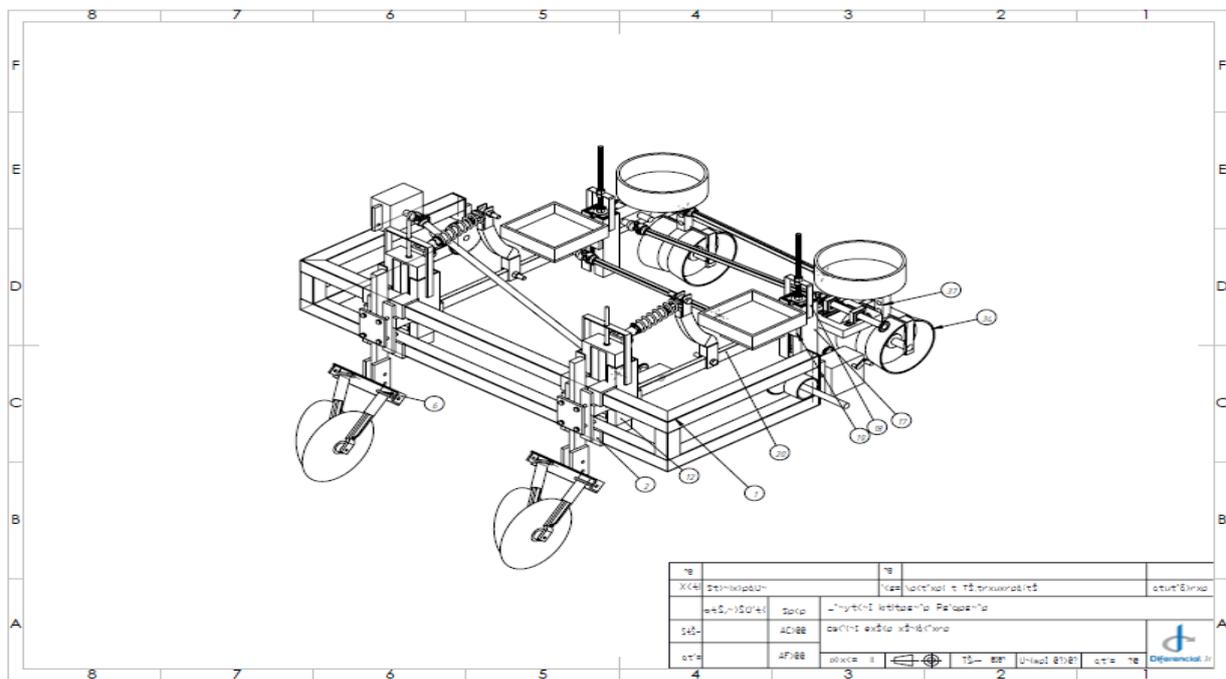


Figura 2. Vista geral do protótipo.

Alguns sistemas não foram aprofundados por se tratar de módulo comercial existente. Para essa fase foram utilizados os processos de corte, solda, furação, dobramento e pintura (Figura 3A e 3B). O material selecionado para a

confeção das peças foi o aço SAE 1020, limite de escoamento de 350 MPa. Na escolha do material levaram-se em consideração a facilidade de aquisição e soldagem das peças.



Figura 3. Semeadora-adubadora para o sistema de camalhão.

A profundidade de semente apresenta comportamento estável durante a operação com todos os pontos dentro dos limites inferior e superior de controle (Figura 4A e 4B), a semeadura no sulco, propicia maior profundidade de deposição de semente, no entanto, esses valores encontram-se abaixo do recomendado por Reynaldo et al. (2015) para a cultura do milho que é de 5 cm. Outra explicação para esses valores baixos pode estar ligada a falhas na regulagem da máquina e ao teor de

umidade do solo no momento da avaliação, comprometendo assim, a deposição de sementes. Cortez et al. (2007) constataram que, a profundidade de deposição de semente para o milho concentra-se entre 3 a 7 cm corroborando com o resultado encontrado neste trabalho. Weirich Neto (2004) cita que, a profundidade ideal de deposição da semente é de 3,9 cm, e que sementes depositadas abaixo ou acima dessa profundidade, necessitaram de tempo maior para emergir.

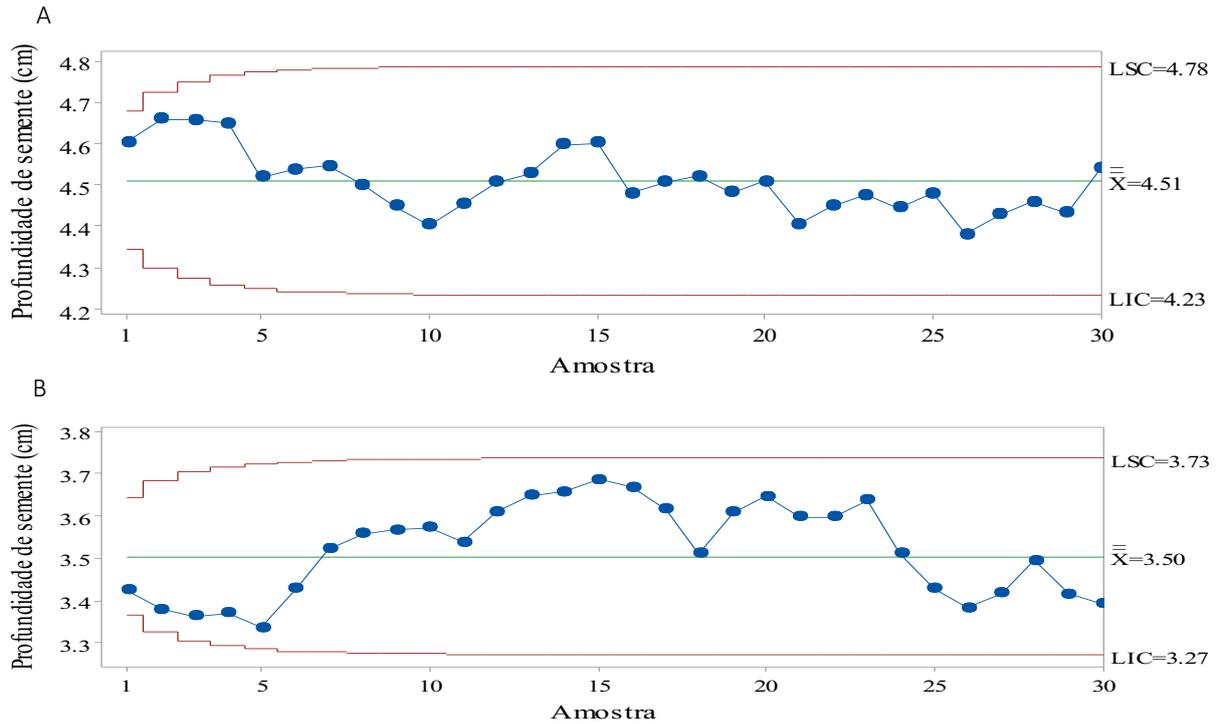


Figura 4. Cartas de controle para profundidade de semente no sulco (A) e no camalhão (B).

A profundidade de deposição do adubo apresenta comportamento instável durante a operação com pontos fora dos limites inferior e superior de controle (Figura 5A e 5B). A semeadura no sulco e no camalhão apresentam oscilações durante todo o processo, resultado associado à regulagem do segmento de profundidade de deposição do adubo. A

semeadura no sulco apresenta maior valor médio (7,26 cm) para profundidade de deposição de adubo, refletindo em pontos abaixo e acima dos limites de controle, no entanto, os valores encontrados neste trabalho corroboram com Peche Filho (2005), onde foi verificada que a profundidade do adubo deve ser de 3 a 7 cm.

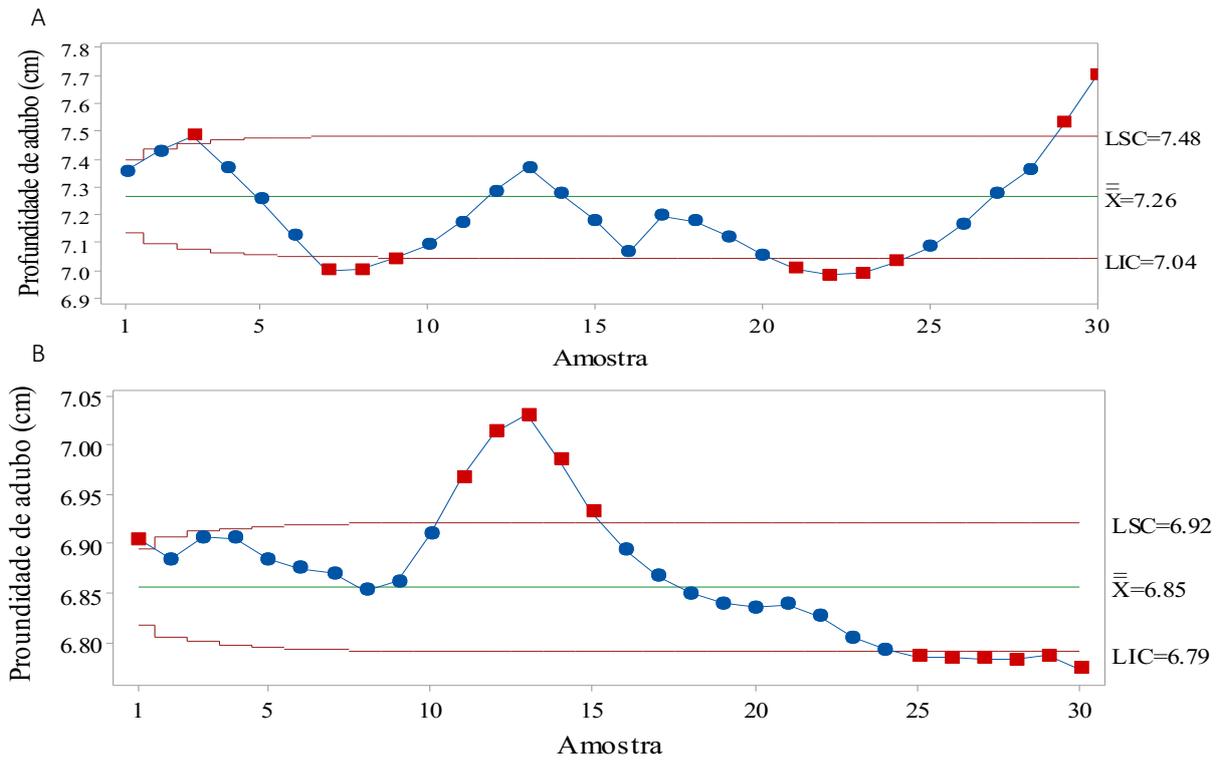


Figura 5. Cartas de controle para profundidade de adubo no sulco (A) e no camalhão (B).

A existência de pontos fora de controle para a profundidade do sulco levou a instabilidade do processo (Figura 6A, 6B e 6C), podendo ser atribuídos a causas especiais ocorridas durante a condução do experimento, bem como, a regulagem da profundidade do sulco, angulação dos discos abridores e regulagem da linha de semeadura e causas naturais que atuaram no decorrer do processo, portanto, a variabilidade apresentada é

intrínseca ao processo embora tenha ocorrido variabilidade dos dados, verifica-se pela teoria de Barros (2008) e comprovada por Albiero et al. (2012) que, 95% das amostras encontram-se dentro do intervalo de confiança, nesse caso, o processo pode ser considerado estável, se os pontos que se encontram fora do limite de controle forem retirados, não influenciando de maneira negativa, pois não mascara os dados.

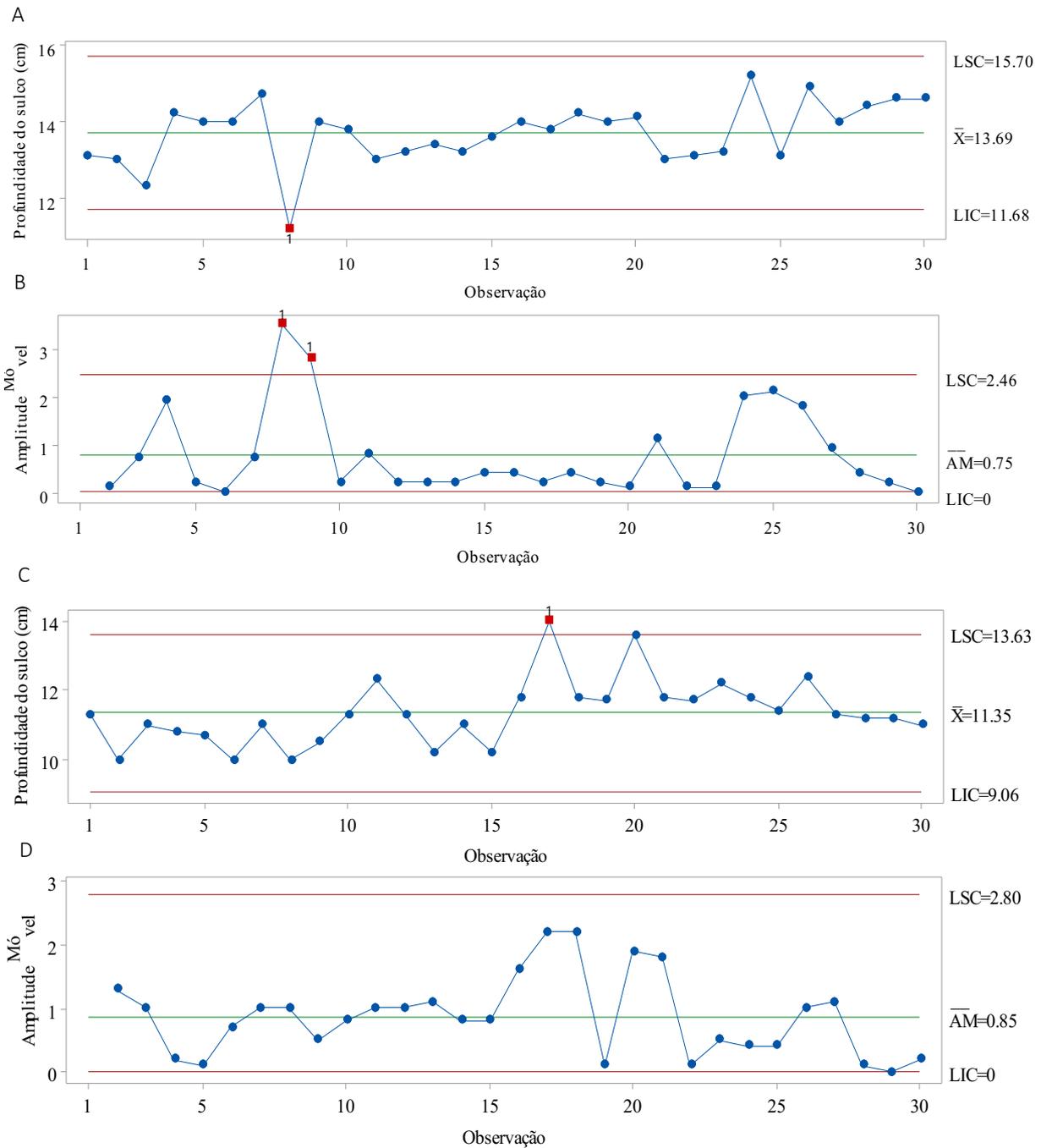


Figura 6. Cartas de controle para profundidade do sulco no sulco (A) e no camalhão (B).

A altura do camalhão demonstra que, a semeadura realizada no sulco e no camalhão apresentam-se dentro dos limites de controle para as cartas de valores individuais (Figura 7A e 7C). Tal estabilidade é condizente, uma vez que, todas as observações se situam dentro dos limites inferior e superior de controle. Desta forma, pode-se considerar que, apenas causas naturais atuaram no decorrer do processo,

portanto, a variabilidade apresentada é intrínseca ao processo. A altura do camalhão apresenta maior valor médio (14,46 cm) com a semeadura no sulco, possivelmente associado ao peso do conjunto mecanizado sobre o solo e a umidade inadequada do solo no momento da avaliação. Observa-se instabilidade do processo apenas na carta de amplitude móvel, com a semeadura realizada no camalhão (Figura 7D).

A

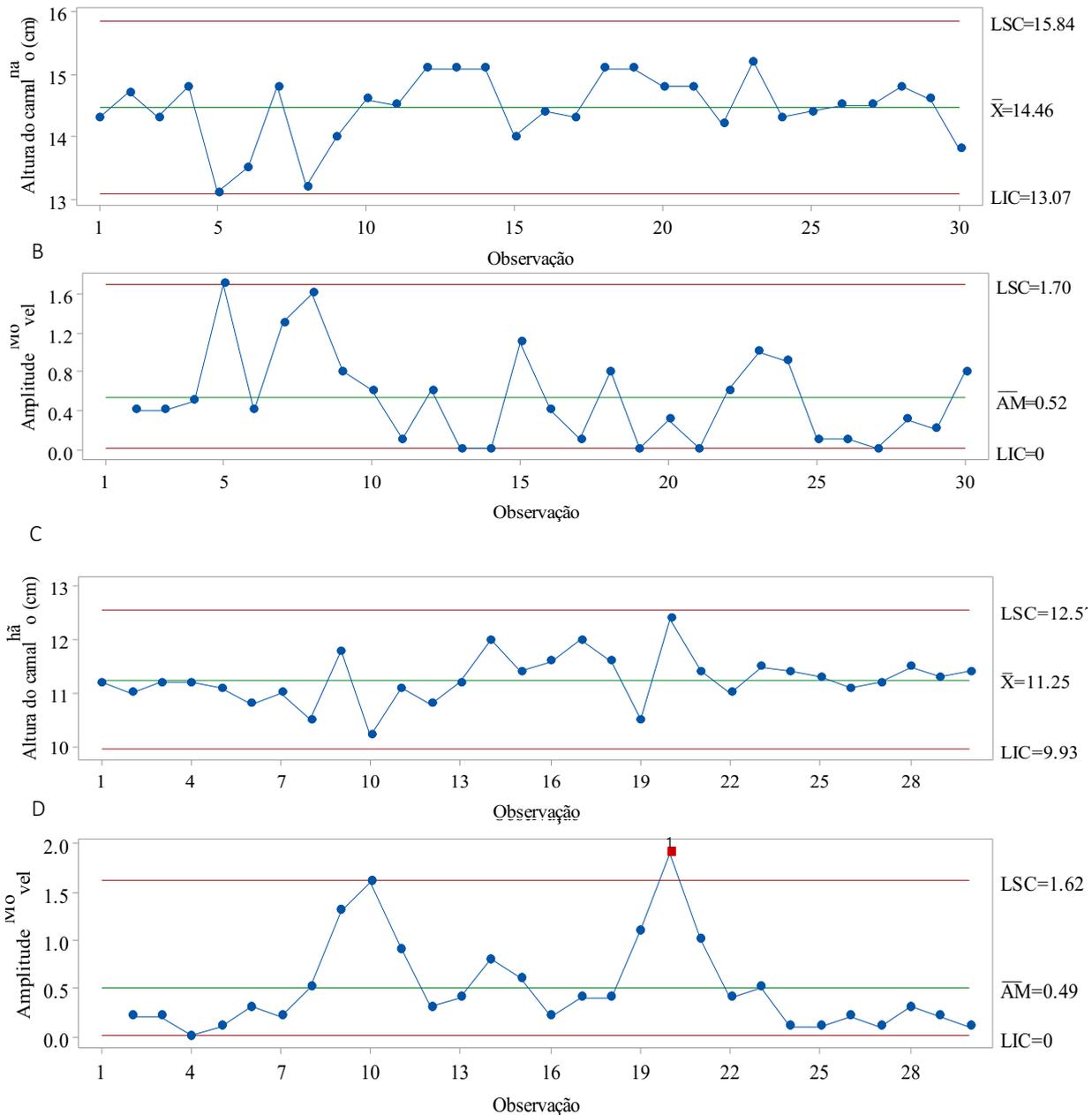


Figura 7. Cartas de controle para altura do camalhão no sulco (A, B) e no camalhão (C, D).

**Conclusão**

A metodologia de projeto aplicada mostrou-se eficaz no desenvolvimento da semeadora-adubadora.

O controle estatístico mostrou-se como ferramenta adequada para avaliar o processo de semeadura, indicando que apenas causas naturais atuaram no decorrer do processo.

O protótipo obteve resultados satisfatórios com relação à estabilidade do processo no que se refere à profundidade de sementes e altura do camalhão, porém é necessário realizar melhorias, para que o mesmo atinja a estabilidade do processo para a profundidade de adubo e profundidade do sulco.

**Agradecimentos**

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

À Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará (ADECE) em parceria com a Fundação de Amparo à Pesquisa (ASTEF) pelo apoio financeiro.

**Referências**

ALBIERO, D. Desenvolvimento e avaliação de máquina multifuncional conservacionista para a agricultura familiar. 244f. Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2010.

- ALBIERO, D.; MACIEL, A. J. S.; MILAN, M.; MONTEIRO, L. A.; MION, R. L. Avaliação da distribuição de sementes por uma semeadora de anel interno rotativo utilizando média móvel exponencial. *Revista Ciência Agronômica*, v.43, n.1, p.86-95, 2012.
- ALBIERO, D.; XAVIER, R. S.; GARCIA, A. P.; MARQUES, A. R.; RODRIGUES, R. L. The technological level of agricultural mechanization in the state of Ceará, Brazil. *Engenharia Agrícola*, v.39, n.1, p.133-138, 2019.
- ALMEIDA, R. A. S.; SILVA, C. A. T.; SILVA, S. L. Desempenho energético de um conjunto trator-semeadora em função do escalonamento de marchas e rotações do motor. *Agrarian*, v.3, n.7, p.63-70, 2010.
- ANFAVEA. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. 2017. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/Index.html>>. Acesso em: 25 fev. 2018.
- BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, C. Projeto integrado de produtos: Planejamento, concepção e modelagem. Barueri, 2008. 670p.
- BARROS, F. F. A melhoria contínua no processo de plantio da cana-de-açúcar. 79f. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.
- BARTH, M.; RENNER, J. S.; NUNES, M. F.; SANFELICE, G. R. Características do trabalho na agricultura familiar e sua influência na emigração de jovens. *Illuminurus*, v.17, n.41, p.256-276, 2016.
- BAXTER, M. *Projeto de Produto: Guia prático para o design de novos produtos*, Editora Edgard Blucher, São Paulo, Brasil, 2000. 344p.
- CORTEZ, J. W.; ALVES, P. J.; FURLANI, C. E. A.; GROTTA, D. C. C.; SILVA, R. P. Profundidades de semeadura do milho e cargas aplicadas na roda compactadora da semeadora. *Agrária*, v.2, n.2, p.156-160, 2007.
- EMBRAPA. Embrapa Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. rev. atual. Brasília, DF: Embrapa Produção da Informação. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 306p.
- FONSECA, A. J. H. Sistematização do processo de obtenção das especificações de projeto de produtos industriais e sua implementação computacional. 180f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2000.
- FORCELLINI, F. A. Projeto Conceitual. São Carlos: Apostila do curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. EMC/UFSC, 2002.
- FURLANI, C. E. A.; CANOVA, C.; CAVICHIOLI, F. A.; BERTONHA, R. S.; SILVA, R. P. Demanda energética por semeadora-adubadora em função da haste sulcadora na semeadura do milho. *Revista Ceres*, v.60, n.6, p.885-889, 2013.
- GUANZIROLI, C. E.; BUAINAIN, A. M.; DI SABBATO, A. Dez anos de evolução da agricultura familiar no Brasil: (1996 e 2006). *Revista Economia e Sociologia Rural*, v.50, n.2, p.351-370, 2012.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico, 2010. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=264529>>. Acesso em: 20 jun. 2016.
- IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Texto para discussão. A Agricultura do Nordeste Brasileiro: Oportunidades e Limitações ao desenvolvimento. CASTRO, C. N. Brasília: 2012. 48p.
- IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Texto para discussão. Ambiente de Negócios, Investimentos e produtividade. CAVALCANTI, L. R. Brasília: 2015. 32p.
- MACHADO, A. L. T.; REIS, A. V. dos; MACHADO, R. L. T. Tratores para agricultura familiar: guia de referência. Pelotas: Ed. Universitária UFPEL, 2010. 124p.
- MAIA, A. G.; MIYAMOTO, B. C. B.; SILVEIRA, J. M. F. J. A adoção de sistemas produtivos entre grupos de pequenos produtores de algodão no Brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v.54, n.2, p.203-220, 2016.
- MARTINS, C. A. da S.; NOGUEIRA, N. O. Captação de água da chuva em propriedades rurais. *Nucleus*, v.12, n.1, p.87-106, 2015.
- MELO, R. P.; ALBIERO, D.; MONTEIRO, L. A.; SOUZA, F. H.; SILVA, J. G. Qualidade na distribuição de sementes de milho em semeadoras em um solo cearense. *Revista Ciência Agronômica*, v.44, n.1, p.94-101, 2013.
- MENEGATTI, F. A. Desenvolvimento de um sistema de dosagem de fertilizantes para agricultura de precisão. 296f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004.
- MONTGOMERY, D. C. Introdução ao controle estatístico da qualidade. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004. 516p.
- MORAIS, V. M.; FREITAS, F. L. A.; ARRUDA, I. A.; AMORIM, J. D. C.; MARACAJÁ, P. B. Tecnologias de convivência com o semiárido, alternativas viáveis para a agricultura familiar no Oeste do Rio Grande do Norte. *Informe Técnico do Semiárido*, v.3, n.1, p.12-14, 2009.
- NASCIMENTO, E. M. S. Desenvolvimento e avaliação do protótipo de semeadora-

- adubadora no sistema de camalhão. 104f. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2019.
- NIEMCZEWSKI, B. K. Desenvolvimento de chassi de uma semeadora-adubadora de quatro linhas para tratores de baixa potência. 88f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2012.
- OGLIARI, A.; BACK, N.; DIAS, A.; SILVA, J. C. Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem. São Paulo: Manole, 2013. 760p.
- PAHL, G.; BEITZ, W. Engineering design: A systematic approach. 2.ed. London: Springer Verlag, 1996. 579p.
- PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K. H. Projeto na Engenharia. São Paulo: Blucher, 2005. 70p.
- PECHE FILHO, A. Mecanização do sistema plantio direto. 2007. Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2007\\_2/mecanizacao/Index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2007_2/mecanizacao/Index.htm)>. Acesso em: 08 fev. 2019.
- REIS, Â. V. dos. *Desenvolvimento de concepções para a dosagem e deposição de precisão para sementes miúdas*. 277f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.
- REIS, Â. V. dos.; FORCELLINI, F. A. Functional analysis in the evaluation of four concepts of planters. *Ciência Rural*, v.32, n.6, p.969-975, 2002.
- ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. Gestão de Desenvolvimento de Produtos: uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006. 542p.
- ROMEIRO FILHO, E. Uma abordagem centrada no usuário para o projeto de máquinas agrícolas de tração animal. *Gestão e Produção*, v.19, n.1, p.93-102, 2012.
- SDA. Secretária do Desenvolvimento Agrário. 2010. Disponível em: <https://www.sda.ce.gov.br/2010/06/04/governo-do-estado-entrega-46-tratores-no-cariri/>. Acesso em: 22 abr. 2018.
- SILVA, M. R. DA.; LUIZ, A.; DANIEL, L. A.; PECHE FILHO, A. Uso da teoria de números índices para adequação de semeadoras-adubadoras de precisão. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, n.2, p.222-229, 2007.
- STEFANELLO, G. Semeadora de tração humana: projeto informacional e conceitual. 86f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2013.
- TEIXEIRA, S. S. Projeto conceitual de uma semeadora de milho e feijão voltada para a agricultura familiar de base ecológica. 113f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2008.
- VASCONCELOS, R. O. Modernização da agricultura familiar em Sergipe: Impasses e desafios da horticultura irrigada no Agreste de Itabaiana. 220f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Sergipe. Aracajú, 2013.
- ZARDO, C. R.; BARBISAN, A. O.; BERTICELLI, N. Como desenvolver rapidamente produtos. *Revista Científica Metodológica*, v.5, n.2, p.41-53, 2016.

## Capítulo 2

# **AVALIAÇÃO DA ESTRATÉGIA DE CONTROLE PI-FUZZY EM UM MÓDULO DIDÁTICO DE VAZÃO E NÍVEL**

**Gabriel Rodrigues dos Santos Silva<sup>1</sup>**  
**Luís Filipe Freitas de Jesus<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Acadêmico em Engenharia Química, IFBA/DEPEQ/Campus Salvador, gabriel.rodrigues@ifba.edu.br

<sup>2</sup>Professor EBTT, IFBA/DEPEQ/Campus Salvador, luisfilipe@ifba.edu.br

### **Introdução**

A automatização de processos contínuos vem crescendo continuamente ao longo das últimas décadas, proporcionando ganhos em quantidade e qualidade da produção e, simultaneamente, oferecendo preços melhores para os consumidores. O avanço dessa área está diretamente ligado aos aperfeiçoamentos recentes da microeletrônica, que gerou uma substituição do trabalho braçal por sistemas computadorizados de acionamento, ou seja, libertou o ser humano de tarefas repetitivas, fazendo-o participar e gerenciar atividades mais complexas, proporcionais à capacidade cognitiva do cérebro humano (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2003; ZANCAN, 2011).

Os controladores lineares, como P, PI, PD e PID, foram uma consequência direta do avanço da automação. Esses controladores representam técnicas clássicas de controle aplicáveis a sistemas com uma entrada e uma saída (Single Input Single Output - SISO). A alta popularidade é justificada pela fácil utilização que possuem, devido à pequena quantidade de parâmetros a serem sintonizados e pela grande quantidade de ferramentas de implementação existentes, proporcionando ajustes rápidos e de alta praticidade (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2003; GUERRA, 2009).

A sintonia de controladores PI sempre foi um tópico de grande interesse na área de controle de processos, pois está relacionada com a maneira que o sistema lida com distúrbios na variável controlada, atuando para compensar os desvios provocados por agentes externos. Entretanto, o uso de parâmetros fixos, usuais no PI clássico, pode levar a perda de sintonia, devido às não-linearidades do sistema e as condições operacionais variáveis. O controlador PI promove ações adequadas apenas em processos razoavelmente lineares, ou seja, que atende ao princípio da sobreposição de efeitos. Uma das formas de resolver esse problema é a utilização de técnicas avançadas de controle, de forma a obter um caráter

adaptativo ao sistema de controle implementado (BARRA JUNIOR et al., 2005; MALLESAM & RAJANI, 2006; SIMÕES & SHAW, 2007; SMITH & CORRIPIO, 2015).

A lógica *fuzzy* é capaz de lidar com as não-linearidades e incertezas do processo e é baseada na experiência do operador humano, que manipula a saída do controlador baseado no erro e na variação do erro com o objetivo de reduzir esse desvio no menor tempo possível. Representa também uma forma de administrar as incertezas em um processo, pois é multivalente, ou seja, reconhece um grande número de valores, definindo o grau de pertencimento em um intervalo numérico entre 0 e 1 com a utilização de funções de pertinência (NI, 2009; SIMÕES & SHAW, 2007).

É uma estratégia que surge da necessidade de um método capaz de expressar de uma maneira sistemática quantidades imprecisas, vagas e mal definidas, podendo ser utilizada em tarefas de tomada de decisão em que as variáveis não são definidas em termos exatos. Quando um sistema se torna muito complexo, a habilidade de soluções convencionais em concluir fatos e tomar decisões precisas e significativas tende a se reduzir até um limite em que precisão e relevância se tornam quase excludentes, é dessa demanda que surge a lógica *fuzzy* (SIMÕES & SHAW, 2007; CAMPOS & SAITO, 2004).

Um controlador *fuzzy* pode se comportar utilizando o raciocínio dedutivo, ou seja, utilizar o controlador para operar de acordo a inferência de conclusões baseadas em informações previamente conhecidas. Essa característica torna o controle *fuzzy* aplicável em sistemas não-lineares e em sistemas com comportamento dinâmico pouco conhecido, utilizando a experiência do operador e a inferência de relações entre as variáveis de processo. Em termos práticos, é uma lógica que busca desempenho equivalente ao operador humano, que possui uma imagem mental do processo, representando um modelo

qualitativo, experimental e adaptativo do sistema que ele cria (SIMÕES & SHAW, 2007; CAMPOS & SAITO, 2004).

Os sistemas de nível e vazão tradicionalmente possuem sintonias desafiadoras, pois envolvem variações muito grandes da dinâmica do processo e, por consequência, precisam ser constantemente resintonizados para obter uma redução do erro no intervalo de tempo adequado. Essa característica torna a lógica *fuzzy* de excelente aplicabilidade em série com o controlador PI, pois fornece ajustes adequados à sintonia tradicionalmente aplicada e evita uma estratégia de controle desnecessariamente complexa e estritamente não-linear, como o a aplicação pura da lógica *fuzzy*, além de concomitantemente conferir um caráter adaptativo à sintonia do controlador (MCMILLAN et al., 2010; NI, 2009; ZAIDNER et al., 2010).

Os módulos didáticos de nível e vazão representam uma forma prática de contato dos estudantes de graduação com a área de controle e automação, fornecendo não apenas aulas práticas e avaliações de aprendizado enviesados na estabilidade de sistemas de controle simples, mas também sendo um ponto de partida para a implementação de sistemas de controle avançado, possibilitando, através do aprendizado adquirido, a aplicação em sistemas de maior escala (TA, 2019).

Baseando-se no problema das não-linearidades e incertezas do processo e na praticidade do módulo didático de vazão e nível, objetiva-se realizar um estudo comparativo

entre as estratégias de controle PI-*Fuzzy* e PI no módulo didático, avaliando o impacto das não-linearidades inerentes ao sistema e dos erros comuns de sintonia através de critérios de desempenho baseados nas características da resposta dinâmica e em toda resposta do processo.

### Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido no DEPEQ no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Campus Salvador.

#### *O módulo didático de vazão e nível*

Foi utilizado um módulo didático de controle de vazão e nível (Figura 1) composto por um reservatório de sucção 2000 mL em formato tronco de cone com 18,8 cm de altura; um reservatório de descarga 2000 mL em formato tronco de cone com 18,8 cm de altura; uma bomba com potência de 19 W, altura manométrica igual a 5 m, voltagem DC12V e vazão igual a 13,33 L/min; um sensor de nível ultrassônico com range 2-450 cm; um sensor de vazão com range 1-30 L/min na tubulação de retorno ao reservatório de sucção; uma placa Arduino Uno Rev3 R3 Atmega328 com alimentação em porta serial; 63 cm de trecho reto de tubulação 1/2" com dois joelhos para retorno ao reservatório de sucção; uma válvula esfera 1/2"; uma mangueira 1/2" de sucção com 18 cm de comprimento do reservatório de sucção até a bomba; e uma mangueira 1/2" de descarga com 130 cm de comprimento da bomba até o reservatório de descarga.

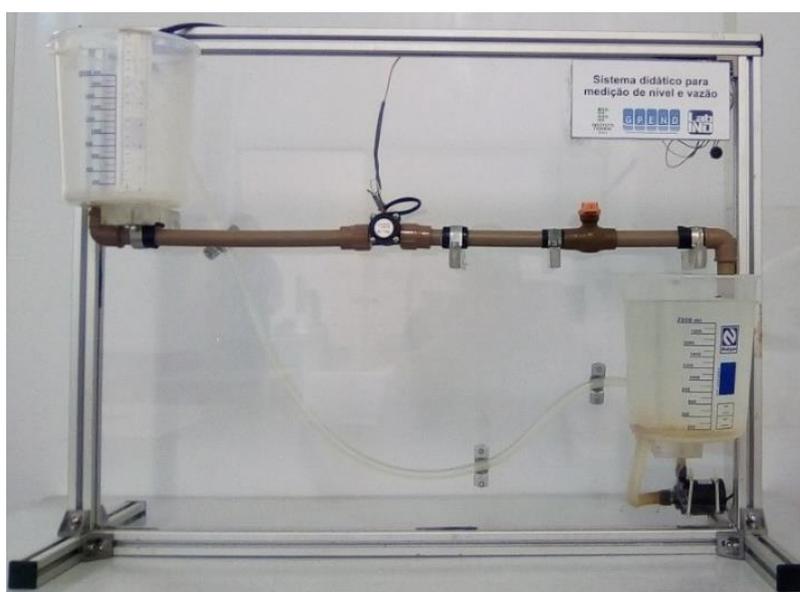


Figura 1. Módulo didático de vazão e nível.

*Interpretação dos sinais pelo LabVIEW®*

O funcionamento do sistema ocorreu com os sinais, medidos através dos sensores de vazão e nível, sendo enviados para um Arduino, que se comunica com software de engenharia de sistemas LabVIEW® através de uma porta serial. O código disposto na interface LabVIEW® foi responsável pelas estratégias de controle PI e PI-Fuzzy, assim como pelo cálculo dos indicadores de desempenho baseados em toda resposta do processo, que são a integral do erro absoluto (IAE - *Integral Absolute Error*) (Equação 1), e a integral do erro quadrático (ISE - *Integral Square Error*) das variáveis controladas (vazão e nível) (Equação 2), que fornecem, respectivamente, os graus de minimização de erros pequenos e grandes (STEPHANOPOULOS, 1984), com o sinal PWM (*Pulse Width Modulation*) para a bomba sendo a variável manipulada. O PWM permite a

obtenção de uma tensão analógica a partir de um sinal digital, com pulso da onda possuindo uma tensão fixa, porém com o valor médio de tensão variando em função do *duty cycle* (FUTIDA & ROMERO, 2008). Há a possibilidade de escolha de operação em malha aberta ou malha fechada. O painel frontal do código está disposto na Figura 2.

$$IAE = \int_0^{\infty} |\epsilon(t)| dt \quad (Eq.1)$$

$$ISE = \int_0^{\infty} \epsilon^2(t) dt \quad (Eq.2)$$

Em que:  $\epsilon$  representa o erro da variável controlada e  $t$  representa o tempo entre o início e o fim do teste experimental.

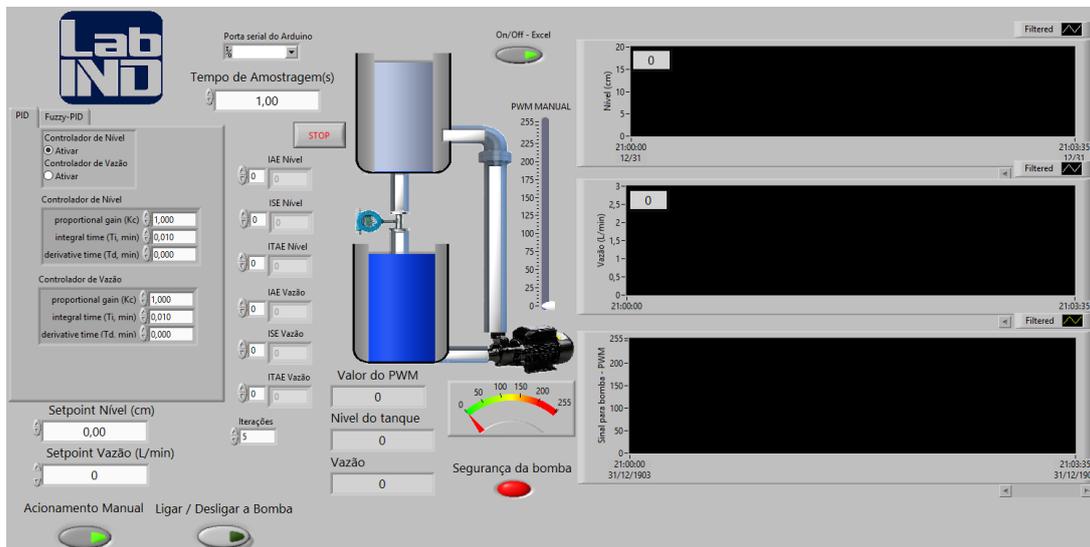


Figura 2. Painel frontal do algoritmo do software LabVIEW®.

*Controladores PI-Fuzzy de nível e vazão*

O controlador baseado na lógica fuzzy utiliza um modelo analítico completo do processo. Ele calcula suas ações utilizando uma base de conhecimento heurística de como o processo deve ser controlado. Baseando-se nessa definição, definiram-se as variáveis controladas (nível e vazão) e manipuladas (PWM) do sistema, assim como as variáveis de entrada (erro e variação do erro) e saída (parâmetros do controlador PI). Depois, para cada variável de entrada ou saída, definiram-se o universo de discurso e o número de valores linguísticos necessários, em que cada valor linguístico foi definido pela sua função de pertinência, que são divididas em funções de entrada e funções de saída. Em seguida, na fase

de processo, as medições do processo, interpretadas como variáveis de entrada, foram transformadas em variáveis linguísticas ou fuzzy nas funções de pertinência de entrada através de um operador de codificação do LabVIEW® que utiliza implicações lógicas e regras de inferência. O operador calculou o valor de pertinência entre 0 e 1 para todos os valores da variável linguística, processo conhecido como fuzzificação. Em seguida, o operador, a partir de outras implicações lógicas e regras de inferência, calculou os valores de pertinência entre 0 e 1 nas funções de saída, em que um método de defuzzificação foi utilizado para converter os graus de pertinência das variáveis linguísticas de saída dentro dos seus termos linguísticos em valores numéricos,

traduzindo a saída do domínio *fuzzy* para o domínio discreto, que representa a saída desejada (CAMPOS & SAITO, 2004).

As construções das funções de pertinência, das regras de inferência e das implicações lógicas do controlador PI-Fuzzy foram realizadas no *Fuzzy System Designer* do LabVIEW®, em que são definidas as variáveis linguísticas de entrada e saída, seus respectivos intervalos e funções de pertinência e as regras do controlador. As variáveis de entrada foram definidas como erro ( $\epsilon$ ) e variação do erro ( $\Delta\epsilon$ ) e as variáveis de saída foram definidas como ganho proporcional e tempo de integração. Para todas as variáveis, foram definidos os termos linguísticos Negativo Grande (NG), Negativo Médio (NM), Negativo Pequeno (NP), Zero (Z), Positivo Pequeno (PP), Positivo Médio (PM), Positivo Grande (PG), comuns em controladores *fuzzy*.

Os intervalos de operação do erro e da variação do erro foram obtidos a partir de dados anteriores de experimentos em malha fechada sintonizados por IMC, sendo posteriormente classificados simetricamente em variáveis linguísticas de acordo com a velocidade de resposta desejada na saída. O método IMC, proposto por Rivera (1999), foi utilizado com o critério conservador, que iguala a constante de tempo em malha fechada ( $\lambda$ ) à constante de tempo do processo em malha aberta ( $\tau$ ). Os parâmetros sintonizados são o ganho proporcional ( $K_c$ ) e o tempo de integração ( $\tau_i$ ), que estão dispostos nas equações 3 e 4. As variáveis de entrada e saída, seus intervalos e suas funções de pertinência estão dispostos na Figura 3.

$$\frac{2\tau + t_0}{K \cdot \lambda} \quad (\text{Eq. 3})$$

$$\tau + \frac{t_0}{2} \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que:  $K_c$  representa o ganho proporcional e  $\tau_i$  representa o tempo de integração.

Para as variáveis de entrada, foram selecionadas funções de pertinência do tipo trapezoidal nos valores maiores, em módulo, do intervalo, obtendo-se assim uma resposta mais rápida do controlador na saída por aumento de área disponível, as outras funções de

pertinência foram definidas como triangulares. Para as variáveis de saída, o tipo trapezoidal também foi utilizado nos valores extremos, reforçando as respostas mais agressivas nessas situações.

As regras de inferência necessitam de conectivos para determinar o valor verdade do antecedente total da regra agregada. Os mais comuns são E (mínimo), E (produto) e OU (máximo). O E (Mínimo) especifica o uso do menor grau de associação dos antecedentes como o valor verdade do antecedente agregado da regra, o E (Produto) especifica o uso do produto dos graus de associação dos antecedentes e o OU (Máximo) especifica o uso do maior grau de associação dos antecedentes. Baseando-se nessas definições, escolheu-se o antecedente E (Mínimo) para dar maior robustez ao sistema (SIMÕES & SHAW, 2007).

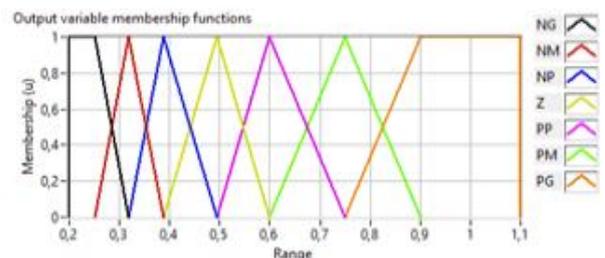
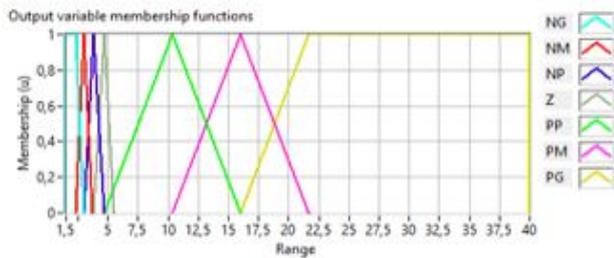
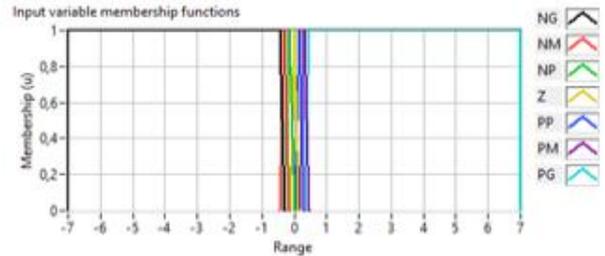
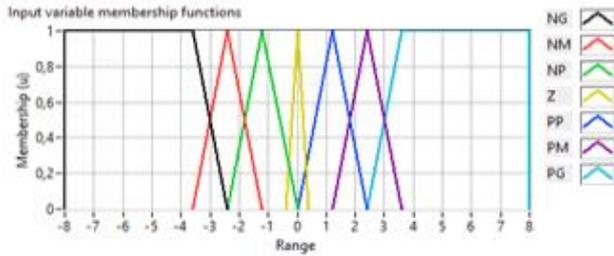
Utilizou-se o método Centro de Somas (CoS) de defuzzificação, em que o controlador usa a Equação 5 para calcular uma média ponderada do centro geométrico da área para todas as funções de pertinência, o que evita problemas por falta de sobreposição de funções de pertinência ou quando mais uma regra tem a mesma saída *fuzzy* (NI, 2009). As regras (Tabelas 1 e 2) foram construídas através uma adaptação da proposta de Lissauskas e Rinkeviciene (2017), simplificando as regras para o  $\tau_i$  conforme sugerido por Shin e Xu (2008). As regras do ganho proporcional ( $K_c$ ) foram utilizadas para acelerar a velocidade de resposta do sistema e para melhorar a acurácia do regulatório, evitando-se respostas demasiadamente agressivas ou lentas. As regras do tempo de integração ( $\tau_i$ ) foram utilizadas para eliminar o erro em estado estacionário do sistema, em que um  $\tau_i$  menor implica em eliminar o erro no estado estacionário mais rápido, porém um valor muito baixo em estágios iniciais do processo implica no fenômeno de *reset windup* (LISAUSKAS & RINKEVICIENE, 2017).

$$x_{final} = \frac{(CoA_1 \cdot area_1 + CoA_2 \cdot area_2 + \dots + CoA_n \cdot area_n)}{(area_1 + area_2 + \dots + area_n)}$$

Onde:  $CoA_n$  é o centro geométrico da área da função de pertinência em escala  $n$ , e  $area_n$  é a área da função de pertinência em escala  $n$  (NI, 2009).

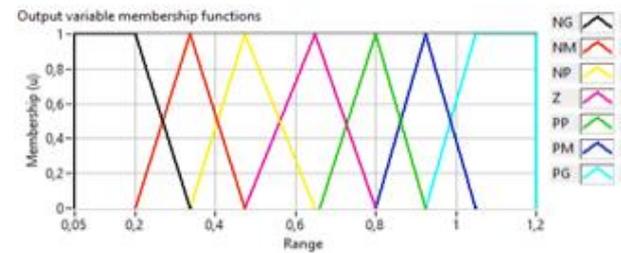
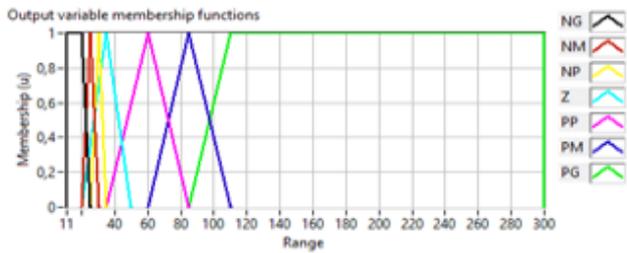
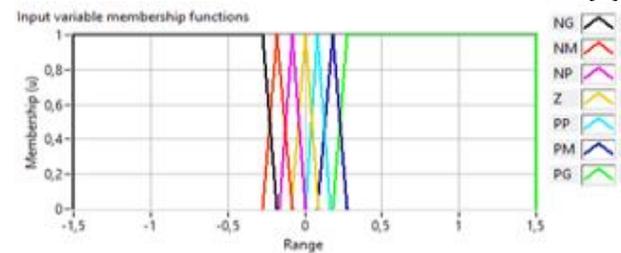
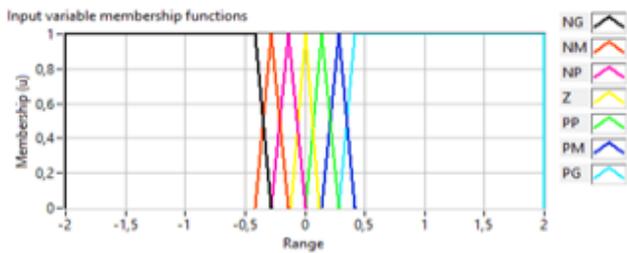
Tabela 1. Controle fuzzy para o  $K_c$

$\epsilon \setminus \Delta\epsilon$	NG	NM	NP	Z	PP	PM	PG
NG	PG	PG	PM	PM	PP	Z	Z
NM	PG	PG	PM	PP	PP	Z	NP
NP	PM	PM	PM	PP	Z	NP	NM
Z	PM	PM	PP	Z	NP	NM	NG
PP	NM	NP	Z	PP	PM	PM	PM
PM	NP	Z	PP	PP	PM	PG	PG
PG	Z	Z	PP	PM	PM	PG	PG



(A)

(B)



(C)

(D)

Figura 3. Funções de pertinência das variáveis de entrada e saída (A)  $\epsilon$  e  $K_c$  para a variável controlada nível, (B)  $\Delta\epsilon$  e  $\tau_i$  para variável controlada nível, (C)  $\epsilon$  e  $K_c$  para a variável controlada vazão e (D)  $\Delta\epsilon$  e  $\tau_i$  para variável controlada vazão.

Tabela 2. Controle fuzzy para o  $\tau_i$

$\epsilon \setminus \Delta\epsilon$	NG	NM	NP	Z	PP	PM	PG
NG	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z
NM	PG	PG	PM	PP	Z	Z	Z
NP	PG	PM	NP	PP	Z	NP	NP
Z	PM	PM	PP	Z	NP	NM	NM
PP	PM	PP	Z	NP	NP	NM	NG
PM	Z	Z	Z	NP	NM	NG	NG
PG	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z

*Controladores PI de vazão e nível*

Para avaliar o desempenho do controlador PI-Fuzzy diante das não-linearidades do sistema, foram calculadas sintonias PI, servindo como sistemas de comparação, através do método IMC com critério conservador, a partir das funções de transferência obtidas pelos testes de identificação tipo degrau em malha aberta. Os testes de identificação ocorreram conforme disposto na Tabela 3.

Realizaram-se testes em degrau nos valores de *setpoint* das variáveis controladas vazão e nível, disponíveis na Tabela 4, realizados em três regiões do processo (PV baixa, PV média e PV alta), com suas respectivas sintonias devidamente calculadas. PV baixa representa a faixa de nível entre 3 e 6 cm e a

faixa de vazão entre 0,44 e 1,40 L/min. PV média representa a faixa de nível entre 6 e 9 cm e a faixa de vazão entre 1,40 e 2,50 L/min. PV alta representa a faixa de nível entre 9 e 13 cm e a faixa de vazão entre 2,50 e 3,20 L/min. Para a PV Média, também foram realizadas análises de sensibilidade nos cálculos de sintonia com erros no ganho proporcional de  $\pm 5$  e  $\pm 10\%$ , situações comuns na indústria.

Nos gráficos dos testes em degrau, a linha azul foi utilizada para representar a variável controlada, a linha laranja foi utilizada para representar o *setpoint* e os quadrados pretos foram utilizados para representar os valores de tempo e da variável controlada no início da perturbação e imediatamente após atingindo o estado estacionário.

Tabela 3. Testes de identificação em degrau realizados na variável manipulada

PV Baixa		PV Média		PV Alta	
PWM Inicial	PWM Final	PWM Inicial	PWM Final	PWM Inicial	PWM Final
50,1969	60,2362	73,2874	83,3268	98,3858	107,4213

Tabela 4. Perturbações em degrau realizadas nos setpoints das variáveis controladas vazão e nível

Variável Controlada	PV Baixa		PV Média		PV Alta	
	Valor Inicial	Valor Final	Valor Inicial	Valor Final	Valor Inicial	Valor Final
Vazão (L/min)	0,91	1,30	2,22	2,48	2,92	3,20
Nível (cm)	3,50	5,50	6,50	8,50	10,50	12,50

*Comparação entre os controladores PI-Fuzzy e PI*

Utilizando critérios baseados nas integrais do erro (Equações 1 e 2) e nas características da resposta dinâmica medidas a partir do início da perturbação, foram realizados experimentos para avaliar a não linearidade do processo, tais como: O desempenho dos controladores PI-Fuzzy com os controladores PI sintonizados por IMC com identificação realizada em PV média e operando em PV média; O desempenho dos controladores PI-Fuzzy com os controladores PI sintonizados por IMC com identificação realizada em PV baixa e operando em PV alta; O desempenho dos controladores PI-Fuzzy com os controladores PI sintonizados por IMC com identificação realizada em PV alta e operando em PV baixa; O desempenho dos controladores PI-Fuzzy com os controladores PI sintonizados por IMC com identificação realizada em PV média com erros no ganho proporcional de  $\pm 5$  e  $\pm 10\%$ .

Utilizou-se tempo de elevação e *overshoot* como critérios baseados nas características da resposta dinâmica, em que o

primeiro é o tempo gasto para a saída ir de 10 a 90% do valor final e o segundo mostra quanto o valor máximo da saída excede o valor final ou desejado (*setpoint*) (CORRIGAN, 2011).

Inicialmente, avaliaram-se os resultados separados das estratégias PI-Fuzzy e PI de forma preliminar, após foram realizados cálculos de desvio do controlador PI-Fuzzy em relação aos cenários PI testados, conforme disposto na Equação 6.

$$Desvio = \frac{\sigma_{PIFuzzy} - \sigma_{PI}}{\sigma_{PI}} \quad (Eq.6)$$

Em que:  $\sigma$  representa um critério baseado nas integrais do erro ou nas características da resposta dinâmica.

**Resultados e Discussão**

Para melhor interpretação dos experimentos realizados, os resultados de vazão e nível foram separados, de maneira a realizar isoladamente estudo comparativo entre

estratégias de controle PI-Fuzzy e PI para cada variável controlada.

*Estratégia de controle PI-Fuzzy para vazão*

Os gráficos do comportamento da vazão em PV baixa, PV média e PV alta utilizando a

estratégia de controle PI-Fuzzy estão dispostos na Figura 4 nos itens a, b e c, respectivamente. As características da resposta dinâmica e as integrais do erro estão dispostas na Tabela 5.

Tabela 5. Características da resposta dinâmica e integrais do erro para a variável controlada vazão utilizando um controlador PI-Fuzzy

	Tempo de elevação (s)	Overshoot (%)	IAE	ISE
PV Baixa	49,3902	3,0379	6,6121	1,3455
PV Média	108,2306	0	6,8812	0,9229
PV Alta	65,9537	1,2049	9,5048	1,5751

Uma análise preliminar da Figura 4 permite inferir que, a dinâmica do sistema de controle PI-Fuzzy não envolve respostas extremamente agressivas, não possuindo

também overshoot considerável e tendo tempos de estabilização de acordo com a dimensão do processo. Além disso, é possível observar a não ocorrência de erro de offset.

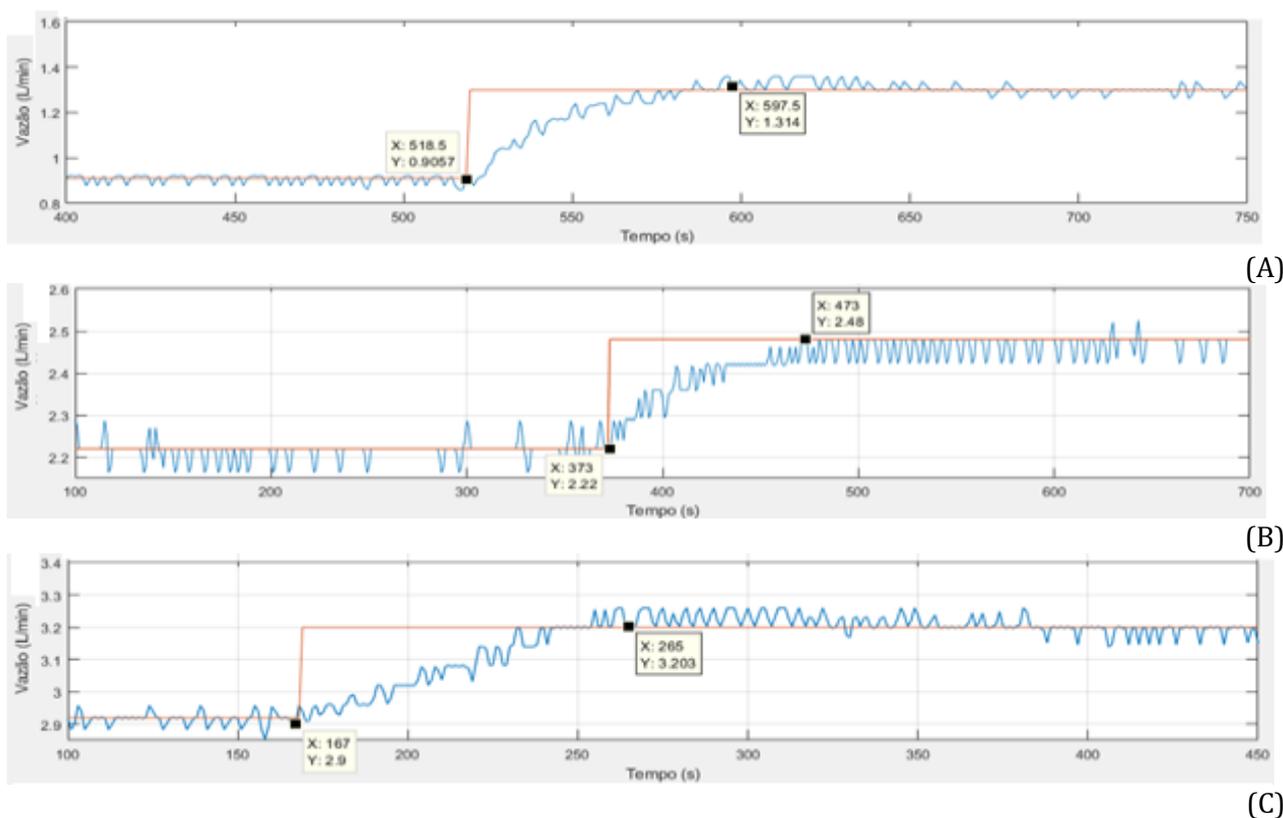


Figura 4. Comportamento da vazão utilizando o controlador PI-Fuzzy nos cenários (A) PV baixa, (B) PV Média e (C) PV Alta.

A partir da Figura 4 e da Tabela 5, é possível inferir que a PV média possui um tempo de transiência superior em comparação com a PV baixa e a PV alta, o que pode ser observado pelos tempos de elevação apresentados. As diferenças entre os tempos de elevação também indicam as não-linearidades do sistema, pois uma mudança de região de processo alterou sensivelmente a velocidade em que a resposta chega ao estado estacionário

final. Os valores pequenos de overshoot indicam que, o controlador PI-Fuzzy não utiliza respostas agressivas em valores de erro mais baixos, conforme esperado no projeto da estratégia de controle. As integrais do erro IAE e ISE demonstram adequada minimização de erros pequenos e grandes, respectivamente.

Os resultados obtidos, ainda sem a comparação com os cenários de sintonia PI, indicam que o sistema de controle consegue

bons resultados diante das não-linearidades do sistema, pois percorre todo o processo sem sofrer variações drásticas quanto a estabilidade e a capacidade de redução do erro. Tais inferências demonstram preliminarmente a aplicabilidade da lógica *fuzzy* em controle de

processos, podendo ser uma alternativa frente aos procedimentos tradicionais estabelecidos.

#### Estratégia de controle PI para vazão

As funções de transferência obtidas na identificação em malha aberta estão dispostas na Tabela 6.

Tabela 6. Funções de transferência do processo para a vazão

Vazão	Função de Transferência
PV Baixa	$\frac{0,0382 \cdot e^{-2,3340s}}{35,5800s + 1}$
PV Média	$\frac{0,0218 \cdot e^{-4,0950s}}{55,193s + 1}$
PV Alta	$\frac{0,0226}{49,567s + 1}$

As funções de transferência obtidas na Tabela 6 confirmam as não-linearidades do sistema, pois, na aproximação FOPDT, foram obtidas combinações diferentes para  $K$ ,  $\tau$  e  $t_0$  nas três regiões de processo, em que houve ocorrência até mesmo de tempo morto nulo,

como é o caso da PV alta, se adequando a um processo puro de primeira ordem.

As sintonias para PV baixa, PV média, PV média com análise de sensibilidade e PV alta estão dispostas na Tabela 7.

Tabela 7. Sintonias PI para a variável controlada vazão

Parâmetros do Controlador	PV Baixa	PV Média	PV Média - 5% no $K_c$	PV Média + 5% no $K_c$	PV Média - 10% no $K_c$	PV Média + 10% no $K_c$	PV Alta
$K_c$	27,0636	47,5471	45,1697	49,9244	42,7924	52,3018	44,1696
$\tau_i$ (min)	0,6125	0,9540	0,9540	0,9540	0,9540	0,9540	0,8261

Os gráficos dos testes em degrau utilizando as sintonias apresentadas na Tabela 7 estão apresentados na Figura 5 nos itens a, b, c, d, e, f e g. As características da resposta dinâmica e as integrais do erro estão dispostas na Tabela 8.

A partir da Figura 5 e da Tabela 8, é possível inferir tempos de elevação menores com o aumento do  $K_c$ , o que era esperado pelo aumento de velocidade da resposta, entretanto uma diminuição no  $K_c$  não proporciona um aumento no tempo de elevação, indicando uma falta de sensibilidade do sistema a essa redução.

Os valores pequenos de *overshoot*, sendo zero na maioria dos casos, indicam que nenhuma das sintonias apresenta-se agressiva, mesmo nos casos de aumento do ganho proporcional, como o de “identificação em PV alta e opera em PV baixa” e os aumentos do ganho proporcional de 5 e 10%. Como consequência direta, é possível inferir que, erros de sintonia comuns não são capazes de afetar a estabilidade da resposta. As integrais do erro IAE e ISE demonstram adequada minimização de erros pequenos e grandes, respectivamente.

Tabela 8. Características da resposta dinâmica e integrais do erro para a variável controlada vazão utilizando diferentes sintonias PI

Identificação	Condição	Tempo de elevação (s)	Overshoot (%)	IAE	ISE
PV Média	Opera PV Média	136,4612	0,0000	8,2121	1,2337
PV Baixa	Opera em PV Alta	96,3787	0,7785	10,5530	1,9639
PV Alta	Opera PV Baixa	63,4926	0,6485	6,7714	1,2300
PV Média	-5% no $K_c$	137,0080	0,0000	9,3854	1,3297
PV Média	+5% no $K_c$	105,4328	0,0000	9,2361	1,2761
PV Média	-10% no $K_c$	123,0081	0,0000	9,0698	1,3080
PV Média	+10% no $K_c$	104,9972	0,1520	8,4521	1,2263

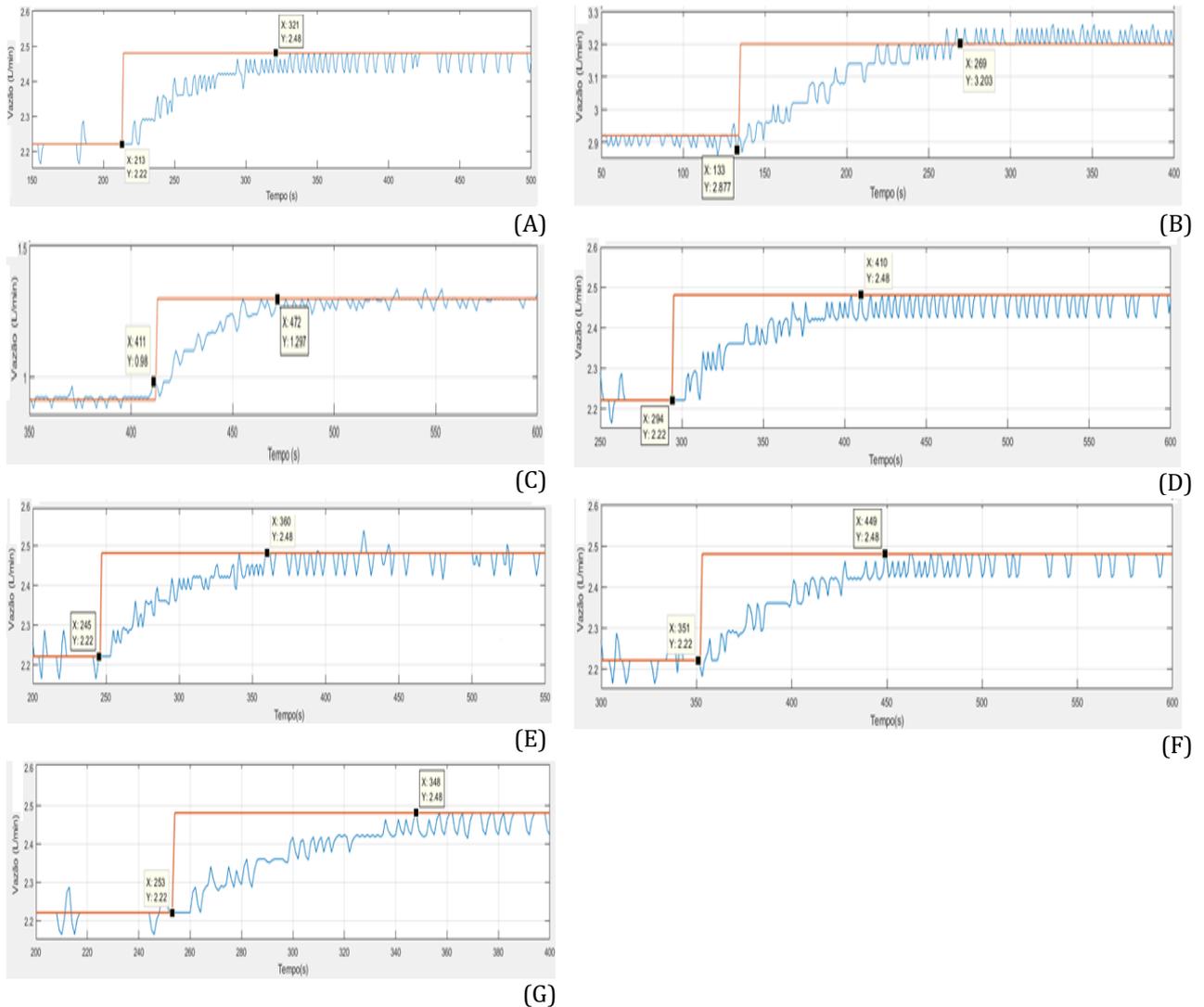


Figura 5. Comportamento da vazão para os cenários de sintonias PI, (A) PV média utilizando sintonia PI com identificação em PV média, (B) PV alta utilizando sintonia PI com identificação em PV baixa, (C) PV baixa utilizando sintonia PI com identificação em PV alta, (D) PV média utilizando sintonia PI com identificação em PV média e erro de -5% no ganho proporcional, (E) PV média utilizando sintonia PI com identificação em PV média e erro de +5% no ganho proporcional, (F) PV média utilizando sintonia PI com identificação em PV média e erro de -10% no ganho proporcional e (G) PV média utilizando sintonia PI com identificação em PV média e erro de +10% no ganho proporcional.

*Comparação entre as estratégias de controle PI-Fuzzy E PI para vazão*

A comparação entre as Tabelas 5 e 8 com desvios em percentual pode ser observada na Tabela 9.

Pelos resultados dispostos na Tabela 9 observa-se que, em geral, os tempos de elevação para os testes com a estratégia PI-Fuzzy são menores, indicando uma redução na transiência da resposta, que passa a atingir o estado estacionário mais rapidamente, fator desejável no controle da maioria dos processos. As exceções, por diferenças muito pequenas, são os dois cenários com aumento de ganho proporcional, pois um aumento do  $K_c$  eleva a velocidade da resposta. O melhor cenário ocorre

ao comparar “identificação em PV Média e opera em PV Média” com o PI-Fuzzy PV Média, no qual o último apresenta um valor 63,81% menor, ou seja, há um ganho de performance até mesmo quando se realiza a identificação na região correta.

Os valores de *overshoot*, apesar dos desvios elevados, o que implica em valores maiores para o PI-Fuzzy, não são relevantes para avaliar a estabilidade da resposta, pois o valor máximo é de 3,0379% (Tabela 5), considerado em um patamar baixo. Alguns desvios não foram possíveis de serem calculados, pois implicariam em divisões por zero.

Tabela 9. Comparação em desvios percentuais dos parâmetros das estratégias de controle PI-Fuzzy e PI para vazão

Identificação	Condição	Comparação com	Desvio Tempo de elevação (%)	Desvio Overshoot (%)	Desvio IAE (%)	Desvio ISE (%)
PV Média	Opera PV Média	PI-Fuzzy PV Média	-63,81	-	-19,48	9,06
PV Baixa	Opera em PV Alta	PI-Fuzzy PV Alta	-31,57	54,77	-9,93	-19,80
PV Alta	Opera PV Baixa	PI-Fuzzy PV Baixa	-22,21	368,45	-2,35	9,39
PV Média	-5% no $K_c$	PI-Fuzzy PV Média	-21,00	-	-26,68	-30,59
PV Média	+5% no $K_c$	PI-Fuzzy PV Média	2,65	-	-25,50	-27,68
PV Média	-10% no $K_c$	PI-Fuzzy PV Média	-12,01	-	-24,13	-29,44
PV Média	+10% no $K_c$	PI-Fuzzy PV Média	3,08	-100,00	-18,59	-24,74

Os desvios do critério IAE são, em geral, suficientemente negativos, o que implica em uma melhor minimização de erros pequenos para a proposta PI-Fuzzy. Com relação ao critério ISE, ocorre, em geral, desvios suficientemente negativos, com exceção da comparação com identificação em PV Média e opera em PV Média e identificação em PV Alta e opera em PV Baixa, no qual ocorre um incremento em torno de 10% nos valores, não sendo suficientes para afetar a capacidade de minimização do erros grandes da proposta PI-Fuzzy.

Os resultados para os parâmetros tempo de elevação e *overshoot* estão de acordo com encontrado por Bandeira e Aquino (2015) em um sistema de exaustão industrial, que obteve desvios de -36,63 e 424,07% para os dois parâmetros, respectivamente, o que indica também uma resposta um pouco mais agressiva para o controlador PI-Fuzzy, pois o resultado obtido por Bandeira e Aquino (2015) para o *overshoot* foi de apenas 4,79%. Os resultados para os parâmetros IAE e ISE estão de acordo

com o encontrado por Baroud et al. (2017) em um sistema de controle de suprimento de ar para células de combustível PEM, que obteve desvios de -45,67 e -42,58% para os dois parâmetros, respectivamente.

As reduções gerais obtidas em todos os parâmetros para comparação com cada cenário testado indicam que, a estratégia PI-Fuzzy da variável controlada vazão fornece grandes melhorias ao controle do processo, pois apresenta resultados positivos nos casos sem erro de sintonia, das sintonias com identificações fora das regiões de operação, e das sintonias com erros de cálculo no ganho proporcional, sendo essa última a mais expressiva. A estratégia PI-Fuzzy consegue operar com bons parâmetros em todas as regiões do processo e, ao mesmo tempo, obtém ganhos em relação a erros de sintonia, como identificações em regiões diferentes da operação e erros no cálculo do ganho proporcional, sendo superior até mesmo ao cenário testado sem erro de sintonia. O controlador consegue contornar ao mesmo

tempo as não-linearidades do processo e os erros de sintonia comuns da operação, sem tornar a resposta demasiadamente conservadora ou agressiva, reduzindo o erro de maneira satisfatória e sem necessitar de ressintonizações constantes.

*Estratégia de controle PI-Fuzzy para nível*

Os gráficos do comportamento do nível em PV baixa, PV média e PV alta utilizando a estratégia de controle PI-Fuzzy estão dispostos na Figura 6 nos itens a, b e c, respectivamente. As características da resposta dinâmica e as integrais do erro estão dispostas na Tabela 10.

Uma análise preliminar da Figura 6 permite inferir que, a dinâmica do sistema de controle PI-Fuzzy não envolve respostas extremamente agressivas, possuindo também valores de overshoot muito pequenos para PV média e PV alta, e tendo tempos de estabilização

de acordo com a dimensão do processo. Além disso, é possível observar a não ocorrência de erro de *offset*.

A partir da Figura 6 e da Tabela 10, é possível inferir que, a PV baixa possui um tempo de transiência superior em comparação com a PV média e a PV alta, o que pode ser observado pelos tempos de elevação apresentados. As diferenças entre os tempos de elevação também indicam as não-linearidades do sistema, especialmente considerando as diferenças entre PV baixa e PV alta. Os valores pequenos de overshoot indicam que, o controlador PI-Fuzzy não utiliza respostas demasiadamente agressivas em valores de erro mais baixos, conforme esperado no projeto da estratégia de controle, até mesmo considerando o resultado obtido em PV alta, que é o maior entre os três apresentados, porém sem relevância do ponto de vista da estabilidade da resposta.

Tabela 10. Características da resposta dinâmica e integrais do erro para a variável controlada nível utilizando um controlador PI-Fuzzy

	Tempo de elevação (s)	Overshoot (%)	IAE	ISE
PV Baixa	50,4403	1,1850	32,2546	35,0180
PV Média	32,1652	3,4582	29,2485	32,3596
PV Alta	32,8459	4,3615	50,7636	37,1933

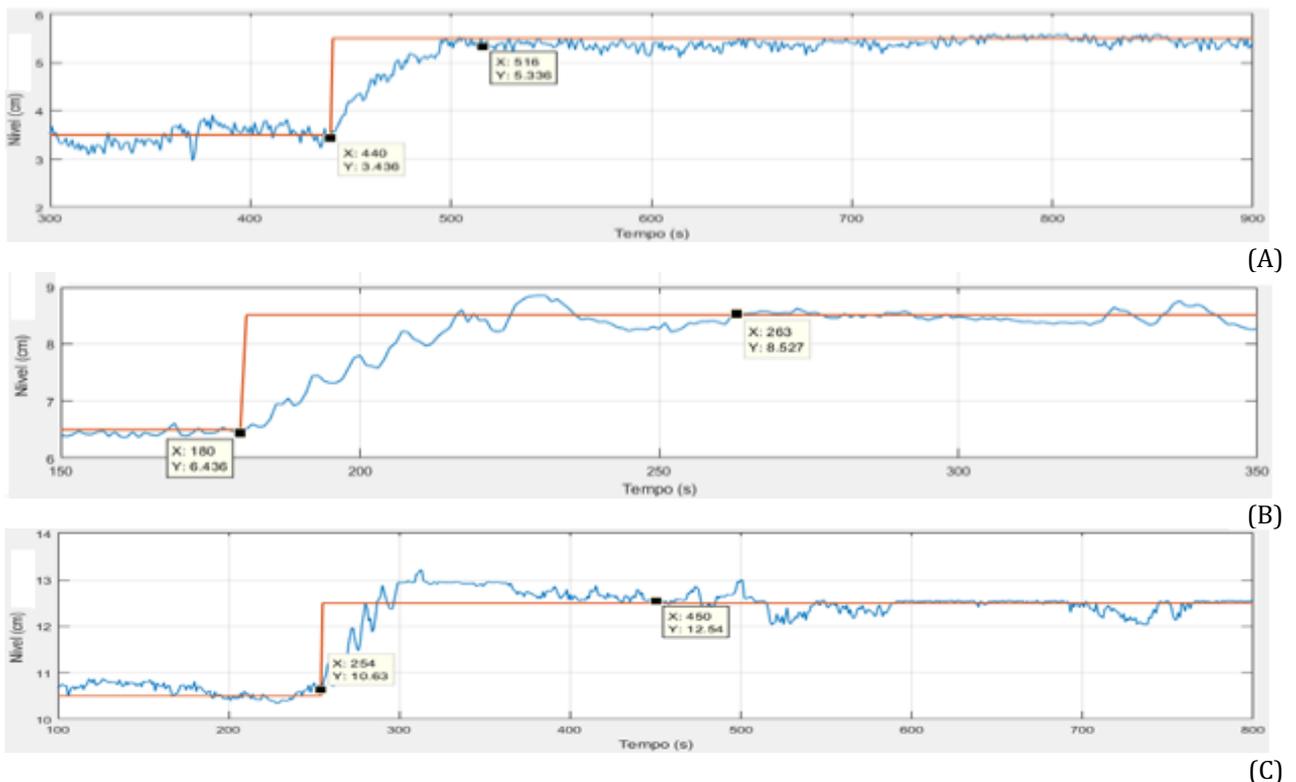


Figura 6. Comportamento da vazão utilizando o controlador PI-Fuzzy nos cenários (A) PV Baixa, (B) PV Média e (C) PV Alta.

As integrais do erro IAE e ISE demonstram adequada minimização de erros pequenos e grandes, respectivamente, com valores um pouco maiores para PV alta, porém sem prejuízo para a minimização desses erros.

Os resultados obtidos indicam que, o sistema de controle apresenta bons resultados

*Estratégia de controle PI para nível*

As funções de transferência obtidas na identificação em malha aberta estão dispostas na Tabela 11.

As funções de transferência obtidas na Tabela 11 confirmam as não-linearidades do sistema, pois, na aproximação FOPDT, são obtidas combinações diferentes para K,  $\tau$  e  $t_0$  nas três regiões de processo, em que há ocorrência até mesmo de tempo morto nulo,

diante das não-linearidades do sistema, pois percorre todo o processo sem sofrer variações drásticas quanto a estabilidade e a capacidade de redução do erro, o que representa um dos objetivos da utilização da lógica fuzzy em controle de processos.

como é o caso da PV alta, se adequando a um processo puro de primeira ordem.

Os gráficos dos testes em degrau utilizando as sintonias apresentadas na Tabela 12 estão disponíveis na Figura 7 nos itens a, b, c, d, e, f e g. As características da resposta dinâmica e as integrais do erro estão dispostas na Tabela 13.

As sintonias para PV baixa, PV média, PV média com análise de sensibilidade e PV alta estão dispostas na Tabela 12.

Tabela 11. Funções de transferência do processo para nível

Vazão	Função de Transferência
PV Baixa	$\frac{0,2369 \cdot e^{-5,0680s}}{28,0430s + 1}$
PV Média	$\frac{0,1020 \cdot e^{-10,7450s}}{25,8680s + 1}$
PV Alta	$\frac{0,2605}{53,408s + 1}$

Tabela 12. Sintonias PI para a variável controlada nível

Parâmetros do Controlador	PV Baixa	PV Média	PV Média	PV Média	PV Média	PV Média	PV Alta
			- 5% no K <sub>c</sub>	+ 5% no K <sub>c</sub>	- 10% no K <sub>c</sub>	+ 10% no K <sub>c</sub>	
K <sub>c</sub>	4,6036	11,8389	11,2470	12,4309	10,6550	13,0228	3,8392
$\tau_i$ (min)	0,5096	0,5207	0,5207	0,5207	0,5207	0,5207	0,8901

Tabela 13. Características da resposta dinâmica e integrais do erro para a variável controlada nível utilizando diferentes sintonias PI

Identificação	Condição	Tempo de elevação (s)	Overshoot (%)	IAE	ISE
PV Média	Opera PV Média	43,6805	3,5910	24,4849	25,1570
PV Baixa	Opera em PV Alta	62,9675	2,7288	63,5939	77,9809
PV Alta	Opera PV Baixa	116,9592	0	61,7576	64,5635
PV Média	-5% no K <sub>c</sub>	40,9961	2,2068	30,6788	31,2887
PV Média	+5% no K <sub>c</sub>	39,1641	1,6572	27,6061	28,1896
PV Média	-10% no K <sub>c</sub>	47,0883	2,1202	30,8000	33,0150
PV Média	+10% no K <sub>c</sub>	37,1441	2,1918	26,8243	26,9588

A partir da Figura 7 e da Tabela 13, é possível observar tempos de elevação menores com o aumento do K<sub>c</sub>, entretanto uma diminuição no K<sub>c</sub> não proporciona um aumento no tempo de elevação, representando resultados semelhantes aos de vazão. Os valores

pequenos de overshoot indicam que nenhuma das sintonias foi demasiadamente agressiva, mesmo nos casos de aumento do ganho proporcional, como os aumentos do ganho proporcional de 5 e 10%. Como consequência direta, é possível inferir que, assim como no

caso da vazão, erros de sintonia comuns não são capazes de afetar a estabilidade da resposta.

As integrais do erro IAE e ISE demonstram adequada minimização de erros pequenos e grandes, respectivamente, na maioria dos casos,

entretanto nos dois testes que operam em regiões diferentes da identificação, ocorre um incremento considerável nos valores dos dois parâmetros, ou seja, erros de sintonia afetam negativamente a minimização do erro.

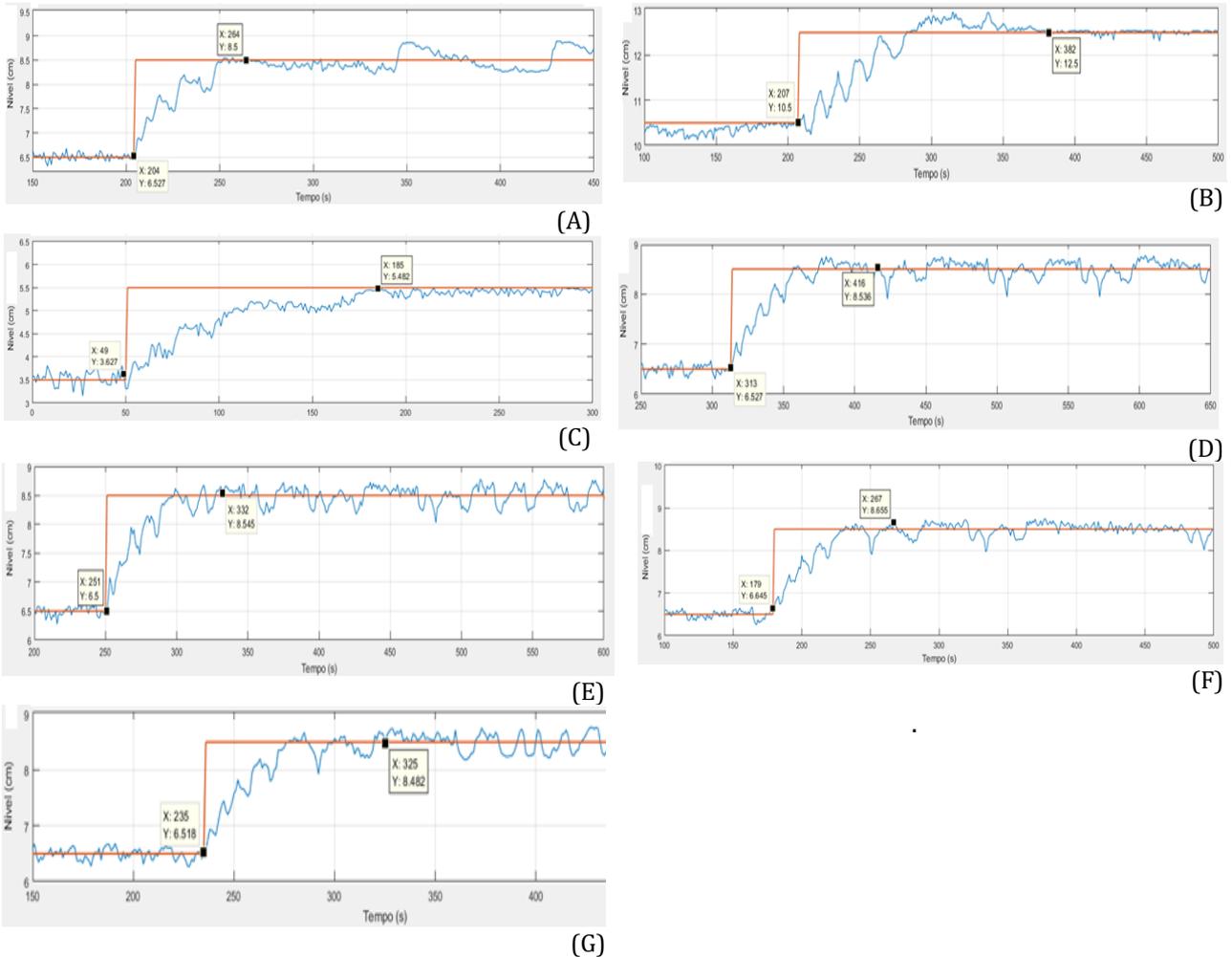


Figura 7. Comportamento do nível para os cenários de sintonias PI, (A) PV média utilizando sintonia PI com identificação em PV média, (B) PV alta utilizando sintonia PI com identificação em PV baixa, (C) PV baixa utilizando sintonia PI com identificação em PV alta, (D) PV média utilizando sintonia PI com identificação em PV média e erro de -5% no ganho proporcional, (E) PV média utilizando sintonia PI com identificação em PV média e erro de +5% no ganho proporcional, (F) PV média utilizando sintonia PI com identificação em PV média e erro de -10% no ganho proporcional e (G) PV média utilizando sintonia PI com identificação em PV média e erro de +10% no ganho proporcional.

*Comparação entre as estratégias de controle PI-Fuzzy E PI para nível*

A comparação entre as Tabela 10 e Tabela 13 com desvios em percentual está indicada na Tabela 14.

Os resultados dispostos na Tabela 14 mostram que, em geral, os tempos de elevação para os testes com a estratégia PI-Fuzzy são menores, indicando uma redução na transiência da resposta, que passa a atingir o estado estacionário mais rapidamente, fator desejável no controle da maioria dos processos. A exceção

é o cenário identificação em PV Média e opera em PV Média, em que o controlador PI-Fuzzy apresenta um valor 15,48% maior, porém, como não se trata de um erro de sintonia e o desvio não é elevado, não é considerado um ponto negativo para a estratégia adotada. O melhor cenário ocorre ao comparar identificação em PV alta e opera em PV baixa com o PI-Fuzzy PV baixa, no qual o último apresenta um valor 56,87% menor, ou seja, o controlador é importante ao evitar erros de sintonia.

Tabela 14. Comparação em desvios percentuais dos parâmetros das estratégias de controle PI-Fuzzy e PI para nível

Identificação	Condição	Comparação com:	Tempo de elevação (s) (%)	Overshoot (%)	IAE (%)	ISE (%)
PV Média	Opera PV Média	PI-Fuzzy PV Média	15,48	-67,00	31,73	39,20
PV Baixa	Opera em PV Alta	PI-Fuzzy PV Alta	-47,84	59,83	-20,18	-52,30
PV Alta	Opera PV Baixa	PI-Fuzzy PV Baixa	-56,87	-	-47,77	-45,76
PV Média	-5% no $K_c$	PI-Fuzzy PV Média	-21,54	56,71	-4,66	3,42
PV Média	+5% no $K_c$	PI-Fuzzy PV Média	-17,87	108,68	5,95	14,79
PV Média	-10% no $K_c$	PI-Fuzzy PV Média	-31,69	63,11	-5,04	-1,99
PV Média	+10% no $K_c$	PI-Fuzzy PV Média	-13,40	57,78	9,04	20,03

Os valores de *overshoot*, apesar dos desvios elevados, o que implica em valores maiores para o PI-Fuzzy, não são relevantes para avaliar a estabilidade da resposta, pois o valor máximo apresenta 4,3615% (Tabela 10), considerado em um patamar baixo. Um desvio não foi possível de ser calculado, pois implicaria em uma divisão por zero.

Os desvios do critério IAE indicam resultados sem tendência observável, pois para os cenários operando em PV baixa e em PV alta, apresenta uma redução expressiva no critério para o PI-Fuzzy, o que não ocorre nos cenários operando em PV média, que partiu de reduções em torno de 5% até um aumento de 31,73%, sendo esse último o caso sem erro de sintonia. Com relação ao critério ISE, os resultados são semelhantes aos do critério IAE, ou seja, o controlador PI-Fuzzy apresenta uma dificuldade maior na minimização de erros grandes e pequenos nessa região do processo, porém os valores se situaram em um patamar baixo e podem ser ponderados pela existência de ruído e interferências.

Os resultados estão parcialmente de acordo com encontrado por Castro (2017) em uma planta de nível, que obteve desvios de -41,73, -42,07, -6,98 e -1,82% para os parâmetros tempo de elevação, *overshoot*, IAE e ISE, respectivamente, ou seja, ocorreu uma concordância entres os trabalhos apenas para os itens tempo de elevação, IAE e ISE. Para o *overshoot*, essa comparação indica que, mesmo com os valores de *overshoot* baixos apresentados, ainda é possível reduzi-los através de uma otimização das funções de pertinência do controlador PI-Fuzzy. A comparação para os critérios IAE e ISE mostra que Castro (2017) não obteve reduções relevantes nos dois parâmetros, o que está de

acordo com o presente trabalho, que obteve resultados sem tendência observável.

Os resultados obtidos na comparação com cada cenário testado indicam que, a estratégia PI-Fuzzy da variável controlada nível fornece grandes melhorias à dinâmica do processo, obtendo resultados positivos nas sintonias com identificações fora das regiões de operação e das sintonias com erros de cálculo, sendo a primeira mais expressiva. A minimização do erro, analisada através das integrais, apresenta resultados variando entre grandes reduções e aumentos na comparação apresentada, ou seja, não ocorre de fato uma melhora nesse quesito, especialmente para os cenários operando em PV Média. A estratégia PI-Fuzzy consegue operar com bons parâmetros em todas as regiões do processo e, ao mesmo tempo, apresenta melhorias na dinâmica em relação a erros de sintonia, como identificações em regiões diferentes da operação e erros no cálculo do ganho proporcional. O controlador consegue contornar ao mesmo tempo as não-linearidades do processo e os gargalos comuns da operação na sintonia, sem tornar a resposta demasiadamente conservadora ou agressiva, porém sem ganhos em relação à minimização do erro, o que ainda assim o coloca acima do controlador PI, eliminando também a necessidade de resintonizações constantes.

### Conclusão

Conclui-se que a estratégia PI-Fuzzy representou uma excelente alternativa diante do PI convencional, em que problemas como erros de cálculo por desconhecimento das não-linearidades do processo e a utilização de equações incorretas de sintonia são muito comuns. Foram obtidas melhorias na dinâmica do processo para as variáveis controladas vazão

e nível e melhorias nos critérios baseados nas integrais do erro apenas para vazão.

Com relação aos critérios baseados nas características da resposta dinâmica, as reduções no tempo de elevação indicaram que a proposta, para as duas variáveis controladas, obteve tempos de transiência inferiores na maioria dos casos, um comportamento desejável para a maior parte dos sistemas de controle. Os valores de *overshoot* maiores, apesar de indicarem uma resposta um pouco mais agressiva em erros pequenos, foram insuficientes para caracterizar a resposta como agressiva, não alterando os benefícios alcançados.

Com relação aos critérios baseados em toda resposta do processo, as diminuições obtidas nos critérios IAE e ISE permitiram inferir que o PI-Fuzzy para vazão otimizou a minimização de erros grandes e pequenos, o que indica uma melhoria ao se considerar toda resposta do processo, porém o mesmo não foi alcançado para o controlador de nível, que manteve resultados sem tendência observável para esses parâmetros.

Os controladores PI-Fuzzy conseguiram ao mesmo tempo trabalhar com as não-linearidades do sistema e evitar erros comuns de sintonia, implicando em uma excelente alternativa para o controle de processos na indústria, que comumente carece de estratégias de controle avançado, dependendo demasiadamente da intervenção humana.

## Referências

ARAÚJO JÚNIOR, A. P. de; CHAGAS, C. V. das; FERNANDES, R. G. Uma rápida análise sobre automação industrial. DCA-CT-UFRN, Natal, 2003. Disponível em: <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17829/material/ARTIGO05.pdf>. Acesso em: 2 ago. 2019.

BANDEIRA, C. M.; AQUINO, R. R. B. de. Comparação de métodos de sintonia de controlador Tipo PI tradicional e do PI-Fuzzy para um sistema de exaustão industrial. In: Congresso de Iniciação Científica da UFPE, 13, 2015, Recife. Anais... Recife: CONIC, 2015. 4p.

BAROUD, Z.; BENMILOUD, M.; BENALIA, A.; OCAMPO-MARTINEZ, C. Novel hybrid Fuzzy-PID control scheme for air supply in PEM fuel-cell-based systems. International Journal of Hydrogen Energy, v.42, n.15, p.10435-10447, 2017.

BARRA JUNIOR, W.; BARREIROS, J. A. L.; COSTA JÚNIOR, C. T.; FERREIRA, A. M. D. Controle Fuzzy

aplicado à melhoria da estabilidade dinâmica em sistemas elétricos de potência. Sba Controle & Automação, v.16, n.2, p.173-186, 2005.

CAMPOS, M. M. de; SAITO, K. Sistemas inteligentes em controle e automação de processos. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2004. 235p.

CASTRO, F. A. de. Aplicação de controladores PID inteiro e fracionário com auto sintonia através de lógica fuzzy. 102f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Controle e Automação). Instituto Federal do Espírito Santo. Serra, 2017.

CORRIGAN, D. Characterizing the response of a closed loop system. Dublin: Trinity College Dublin, 2011. 25p. Disponível em: [http://www.mee.tcd.ie/~sigmedia/pmwiki/uploads/Teaching.3C1/transient\\_response.pdf](http://www.mee.tcd.ie/~sigmedia/pmwiki/uploads/Teaching.3C1/transient_response.pdf). Acesso em: 11 ago. 2019.

FUTIDA, I. T.; ROMERO, R. A. Desenvolvimento mecânico e de Controle PWM para sistema robótico. São Carlos: ICMC-USP, 2008. 28p. Disponível em: [http://conteudo.icmc.usp.br/CMS/Arquivos/arquivos\\_enviados/BIBLIOTECA\\_113\\_RT\\_331.pdf](http://conteudo.icmc.usp.br/CMS/Arquivos/arquivos_enviados/BIBLIOTECA_113_RT_331.pdf). Acesso em: 24 ago. 2019.

GUERRA, W. A. Implementação de controle proporcional, integral e derivativo digital em controladores lógico programáveis. 37f. Monografia (Especialista em Engenharia de Instrumentação). Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2009.

LISAUSKAS, S.; RINKEVICIENE, R. Fuzzy adaptive PID control design. Vilnius: [s. n.], 2017. 11p. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/de01/334107be96d065eb9e607bb3015a7e1d2534.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2019.

MALLESHAM, G.; RAJANI, A. Automatic tuning of PID controller using Fuzzy Logic. In: International Conference on Development and Application Systems, 8, 2006, Suceava. Anais... Suceava: DAS, 2006. 8p.

MCMILLAN, G.; DASANI, S.; JAGADEESAN, P. Adaptive level control. Control Magazine, v.23, n.2, p.55-59, 2010.

NI. National Instruments. PID and Fuzzy logic toolkit user manual. 1. ed. Austin: National Instruments, 2009. 126p.

RIVERA, D. E. Internal model control: a comprehensive view. 1. ed. Tempe: Arizona State University, 1999. 23p.

SHIN, Y. C.; XU, C. Intelligent systems: modeling, optimization and control. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2008. 456p.

SIMÕES, M. G.; SHAW, I. S. Controle e modelagem Fuzzy. 2. ed. São Paulo: Blucher: FAPESP, 2007. 186p.

SMITH, C. A.; CORRIPIO, A. Princípios e prática do controle automático de processo. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015. 524p.

STEPHANOPOULOS, G. Chemical process control: an introduction to theory and practice. 1. ed. Englewoof Cliffs: PTR Prentice Hall, 1984. 696p.

TA. Tecquipment Academia. Level process training system. 2019. Disponível em:

<https://www.tecquipment.com/level-process-training-system>. Acesso em: 3 ago. 2019.

ZAIDNER, G.; KOROTKIN, S.; SHTEIMBERG, E.; ELLENBOGEN, A.; ARAD, M.; COHEN, Y. Nonlinear PID and its application in process control. In: IEEE Convention of Electrical and Electronics Engineers in Israel, Eliat, 26, 2010. Anais... Eliat: IEEE Xplore Digital Library, 2010.

ZANCAN, M. D. Controladores programáveis. 1. ed. Santa Maria: Colégio Técnico Industrial - UFSM, 2011. 54p.

### Capítulo 3

## **ADUBAÇÃO ORGÂNICA COMO ATENUANTE DO ESTRESSE SALINO DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO NO CULTIVO DE CENOURA**

**Rigoberto Moreira de Matos<sup>1</sup>**  
**Patrícia Ferreira da Silva<sup>2</sup>**  
**Bárbara Davis Brito dos Santos<sup>3</sup>**  
**Vitória Ediclécia Borges<sup>4</sup>**  
**Semako Ibrahim Bonou<sup>5</sup>**  
**José Dantas Neto<sup>6</sup>**  
**Vera Lúcia Antunes de Lima<sup>7</sup>**

<sup>1</sup>Doutorando em Eng. Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, rigobertomoreira@gmail.com

<sup>2</sup>Pós-Doc. em Recursos Naturais, UFCG, Campina Grande-PB, patrycyafs@yahoo.com.br

<sup>3</sup>Mestranda em Eng. Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, bdavis.2340@gmail.com

<sup>4</sup>Doutoranda em Eng. Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, edicleciaborges@gmail.com

<sup>5</sup>Graduando em Eng. Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, bonouibrahim@gmail.com

<sup>6</sup>Dr. Prof. UFCG, Campina Grande-PB, zedantas1955@gmail.com

<sup>7</sup>Dra. Profa. UFCG, Campina Grande-PB, antuneslima@gmail.com

### **Introdução**

A cenoura (*Daucus carota* L.) é uma cultura bienal, dicotiledônea herbácea e pertencente à família Apiaceae (*Umbeliferae*), gênero *Daucus*, com grande expressão econômica, devido ao elevado consumo em todo o mundo. No Brasil, a cultura da cenoura desempenha importante papel social, por gerar emprego e renda em todas as etapas de produção da raiz (NETO et al., 2014). O consumidor tem preferência por cenouras com qualidade agrônômica diferenciada com raízes bem desenvolvidas, lisas, cilíndricas, sem a presença de raízes laterais ou secundárias, uniformes, com comprimento entre 20 a 25 cm e com diâmetro de 3 a 4 cm (TEIXEIRA et al., 2011).

A raiz é um alimento com elevado valor nutritivo, pois contém alto teor de  $\beta$ -caroteno precursor da vitamina A, contendo também, carboidratos, cálcio, fósforo, ferro, magnésio, e sais minerais, sendo amplamente consumida no Brasil (KRÄHMER et al., 2016). Além das raízes, os talos e folhas são fonte de proteínas, carboidratos, lipídeos, polifenóis e antioxidantes, que podem ser utilizados para acrescentar nutrientes em diferentes receitas (STORCK et al., 2013).

A qualidade agrônômica dessa raiz é influenciada por diversos fatores, dentre os quais a salinidade é um fator limitante para a produção agrícola, devido aos efeitos osmóticos, estresse oxidativo e toxicidade, causando alterações morfológicas, estruturais e metabólicas (MAO et al., 2016). Ocorrem alterações nas trocas gasosas devido à

diminuição no potencial osmótico do solo da solução do solo (DIAS et al., 2016). Em resposta a condição de estresse salino, há diminuição da condutância estomática e transpiração para minimizar a perda de água evitando a desidratação. A fotossíntese também é afetada com as concentrações elevadas  $\text{Na}^+$  e/ou  $\text{Cl}^-$  no interior dos cloroplastos (BERTOLLI et al., 2015).

A cenoura é sensível a sais, quando a água de irrigação com condutividade elétrica de sais é de no máximo  $0,7 \text{ dS m}^{-1}$  e do extrato saturado até  $1,0 \text{ dS m}^{-1}$  a  $25^\circ\text{C}$  não há redução na produção, no entanto, com o aumento da salinidade, ocorre redução da produtividade (AYRES et al., 1991).

De acordo com Nascimento et al. (2015) a utilização de água de qualidade inferior, em especial com elevados teores de sais tem sido um dos grandes desafios na região semiárida tanto para produtores quanto pesquisadores. Assim, para utilização racional da água de qualidade inferior é necessário alternativas economicamente viáveis que venha a ser aplicadas visando atenuar o efeito dos sais as plantas.

Um dos atenuantes mais economicamente viáveis aos agricultores da região semiárida é a aplicação de adubos orgânicos encontrados na propriedade, esses adubos são fonte de matéria orgânica para o solo e, esta reduz os efeitos dos sais sobre o solo e as plantas, contribuindo para a redução do potencial osmótico, favorecendo a absorção de água e, atenuando o dano provocado água salina às plantas (FREIRE et al., 2015).

Nesse sentido, a análise multivariada é utilizada para explicar a variância de um grande conjunto de dados de variáveis interligadas com um pequeno conjunto de variáveis independentes. A utilização da análise multivariada no estudo da qualidade agrônômica da cenoura visa reduzir a representação dimensional dos dados, organizando-os em uma estrutura que facilita a visualização de todo o conjunto de dados permitindo a identificação das variáveis que mais contribuem para a qualidade agrônômica final da produção (HAIR et al., 2009).

Dada à relevância da temática, objetiva-se através deste trabalho avaliar a adubação

orgânica como atenuante da salinidade da água de irrigação no cultivo de cenoura, através de estatística multivariada.

### Material e Métodos

#### Localização da área de estudo

O estudo foi desenvolvido em casa de vegetação em área experimental pertencente à Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), situada no município de Campina Grande - PB, sob as coordenadas geográficas de 7° 13' 11" latitude Sul e 35° 53' 31" de longitude Oeste e altitude de 550 m (IBGE, 2011), conforme a Figura 1.



Figura 1. Localização da área de estudo. Fonte: Adaptado de IBGE (2009) e Santos et al. (2019).

#### Dados climáticos

A estufa possuía 15 m de comprimento, 10 m de largura e 3 m de pé-direito, coberta com telha de fibra de vidro e laterais com tela tipo sombrite. Os dados de temperatura e umidade

relativa do ar durante o período experimental, desde a semeadura até a colheita, correspondendo a 90 dias, foram coletados diariamente em termo higrômetro instalado no inferior do ambiente protegido (Figura 2A e B).

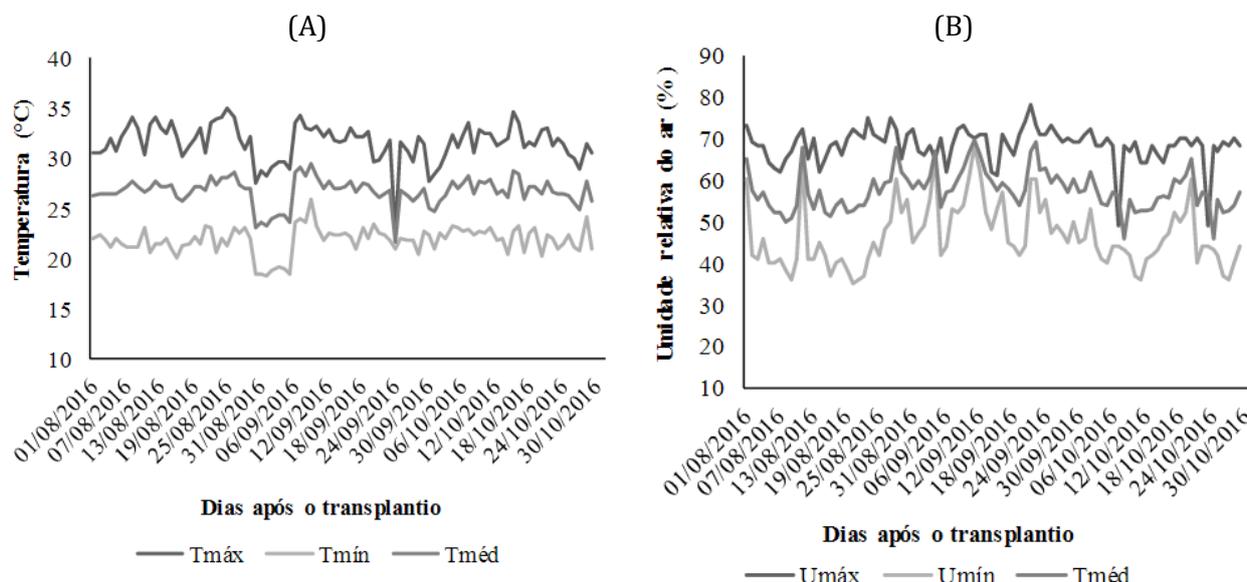


Figura 2. Temperatura do ar máxima, média e mínima (A) e umidade relativa do ar máxima, média e mínima (B), durante o período experimental.

*Solo e fertilizante orgânico*

O solo utilizado na pesquisa foi classificado como de textura franco-arenosa

(EMBRAPA, 2013), cujas características na profundidade de 0 - 20 cm, encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas do solo utilizado no experimento na profundidade de 0,0 - 20,0 cm

pH H <sub>2</sub> O	P (mmolc dm <sup>-3</sup> )	M.O	(mmolc dm <sup>3</sup> )				CTC
			K	Ca	Mg	Al	
5,9	1,43	0,65	0,28	1,90	0,66	0,87	4,86

Legenda: pH = potencial hidrogeniônico, P = fósforo, MO = matéria orgânica, K = potássio, Ca = cálcio, Mg = magnésio, Al = alumínio, e CTC = capacidade de troca de cátions.

As características químicas e de fertilidade da análise do húmus de minhoca

utilizado no experimento encontra-se na Tabela 2.

Tabela 2. Características do fertilizante orgânico (húmus de minhoca) utilizado no experimento

pH	MO	P	K	Ca	Mg	Al	SB	CTC	V		
										(g/kg)	--- (mg dm <sup>-3</sup> ) ---
6,9	73,1	469,3	656,0	0,9	13,2	1,0	0,0	18,9	20,8	91,2	0,0

Legenda: pH = potencial hidrogeniônico, MO = matéria orgânica, P = fósforo, K = potássio, Na = sódio, Ca = cálcio, Mg = magnésio, Al = alumínio, SB = soma de bases, CTC = capacidade de troca de cátions, V = saturação por base, e m = saturação por alumínio.

*Delineamento estatístico e tratamentos*

O delineamento estatístico adotado foi o de blocos casualizados completos, com três repetições. Os tratamentos foram compostos pela combinação de dois fatores: cinco níveis de salinidade da água de irrigação - CEa (S1 = 0,6; S2 = 1,2; S3 = 1,8; S4 = 2,4 e S5 = 3,0 dS m<sup>-1</sup>) e dois tipos de adubação (A1 - solo sem adubação orgânica (testemunha), e A2 - solo com adubação orgânica (húmus de minhoca), com três repetições.

Os tratamentos foram dispostos em 30 vasos, sendo cada parcela constituída por três

vasos de 10 L, espaçados de 0,5 m entre vasos e 0,9 m entre linhas de vasos. Os vasos possuíam orifícios na parte inferior, contendo uma camada de 1 cm de brita nº 1, recoberta com manta geotêxtil para facilitar a drenagem; os vasos foram completados com cerca de 13 kg de solo. As águas de diferentes concentrações salinas foram obtidas a partir da adição de cloreto de sódio (NaCl) a água de abastecimento, conforme a Equação 1 proposta por Richards (1954).

$$C = 640 * CEa \quad (Eq.1)$$

Em que: C - Concentração de NaCl (mg L<sup>-1</sup>); e CEa - Condutividade elétrica da água (dS m<sup>-1</sup>).

#### *Plantio e manejo da irrigação*

A irrigação com água salina foi iniciada após a emergência das plantas, quando estas estavam com 15 dias após a semeadura. A adubação com húmus de minhoca foi na proporção de 2:2, ou seja, 2 kg de húmus para 2 kg de solo. Os tratamentos com húmus de minhoca foram distribuídos de forma aleatória nos blocos.

O plantio foi realizado utilizando 4 sementes de cenoura (*Daucus carota* L.), a cultivar utilizada foi a Brasília, uma das mais cultivadas na região por pequenos olericultores dos cinturões verdes próximos a cidade de Campina Grande - PB. As sementes foram colocadas em covas de 1 cm de profundidade e após 15 da emergência foi efetuado o desbaste, deixando uma planta por vaso. Antes do plantio foi efetuada uma irrigação para elevar a umidade do solo à capacidade de campo.

O manejo da irrigação foi diário sempre no final da tarde, de forma a aplicar água apenas no solo. O volume de água drenado foi coletado na manhã do dia seguinte. Pela diferença entre o volume de água aplicado e o drenado, estimou-se a evapotranspiração da cultura (consumo), determinado diariamente, assim, o volume de água a ser aplicado foi calculado com base no consumo do dia anterior. A fim de se obter frações de lixiviação de 0,15 e 0,20, respectivamente, para cada etapa do ciclo da cultura, seguiu-se a equação de Rhoades (1974), conforme a Equação 2.

$$VI = \frac{VA - VD}{1 - F} \quad (\text{Eq.2})$$

Em que: VI - Volume de água a ser aplicada na irrigação (mL); VA - Volume de água aplicado na irrigação anterior ou no período (mL); VD - Volume de água drenada na irrigação anterior ou no período (mL); e FL - Fração de lixiviação (0,15 e 0,20).

As irrigações foram realizadas de forma manual com proveta graduada para aferir com precisão as quantidades de água a serem aplicadas e drenadas diariamente em cada unidade experimental cultivada com plantas de cenoura.

#### *Variáveis analisadas*

Avaliou-se a qualidade agronômica das raízes de cenoura aos 90 dias após a emergência das plantas. As plantas de cada unidade experimental foram colhidas separadamente e acondicionadas em sacos de papel previamente identificados, em seguida, foram transportadas para o laboratório de Irrigação e Drenagem (LEID), onde foram analisadas as seguintes variáveis: altura de planta (AP) mensurada do colo da planta até a base da última folha emitida utilizando régua graduada em cm; número de folhas (NF) por planta por meio da contagem direta. A área foliar (AF) foi obtida através da Equação 3, multiplicando-se o comprimento e a largura da folha pelo fator de correção.

$$AF = C * L * f \quad (\text{Eq.3})$$

Em que: AF - Área foliar (cm<sup>2</sup>); C - Comprimento da folha (cm); L - Largura da folha (cm); e f - Fator de correção para o rabanete (0,55), adimensional.

O diâmetro superior (DSR) e inferior (DIR) da raiz tuberosa, com paquímetro digital graduado em mm; massa fresca (MFR) da raiz tuberosa, as raízes tuberosas foram lavadas e separadas da parte aérea, posteriormente, foram pesadas separadamente em balança analítica de precisão (0,01g); massa seca (MSR) da raiz tuberosa, obtida por meio de secagem da MFR em estufa de circulação forçada de ar a 65°C e, posteriormente, pesada em balança de precisão de 0,01g para obtenção da MSR; e teor de sólidos solúveis totais (°Brix), determinado com auxílio de um refratômetro digital.

#### *Análise estatística*

Os dados obtidos foram padronizados de modo a tornar a média nula e variância unitária, em seguida, foram submetidos à análise de agrupamento hierárquico utilizando o método de Ward. A estrutura multivariada dos resultados foi avaliada por meio da análise exploratória de componentes principais, condensando-se a quantidade de informação relevante contida no conjunto de dados originais em um menor número de dimensões, resultantes de combinações lineares das variáveis originais geradas a partir dos autovalores mais elevados na matriz de covariância (HAIR et al., 2009).

Para determinar os fatores que representam a variabilidade dos dados, sem haver perda de informações, foi realizada a análise fatorial. A técnica de componente

principal foi utilizada para a extração dos fatores. Considerando ainda o critério de Kaiser, no qual os autovalores dos fatores devem ser maiores que 1 (HAIR et al., 2009).

## Resultados e Discussão

### *Análise de componentes principais*

A utilização da análise multivariada permitiu reduzir o espaço multidimensional do conjunto original de variáveis em dois

Componentes Principais (CP) com autovalores maiores que a unidade ( $\lambda > 1,0$ ), conforme preconiza o critério de Kaiser para escolha de CPs (Tabela 3). Os dois componentes escolhidos explicam 82,73% da variância total, sendo que o primeiro Componente Principal (CP1) retém 67,14% da variância total acumulada, enquanto que o segundo Componente Principal (CP2) contribui com 15,58% desta variância (Tabela 3).

Tabela 3. Matriz dos componentes: raiz características autovalores ( $\lambda$ ), percentual da variância total explicada por cada componente principal ( $\sigma^2\%$ ) e percentual da variância acumulada por meio da rotação normalizada Varimax

Componentes Principais	( $\lambda$ )	( $\sigma^2\%$ )	% Variância Acumulada
CP <sub>1</sub>	5,37	67,14	67,14
CP <sub>2</sub>	1,24	15,58	82,73
CP <sub>3</sub>	0,58	7,28	90,01
CP <sub>4</sub>	0,49	6,20	96,22
CP <sub>5</sub>	0,17	2,17	98,39
CP <sub>6</sub>	0,10	1,34	99,73
CP <sub>7</sub>	0,01	0,21	99,95
CP <sub>8</sub>	0,003	0,04	100,00

Legenda: CP = componente principal;  $\lambda$  = autovalores; e  $\sigma^2\%$  = Variância Total.

Nota-se ainda, a partir da projeção dos escores fatoriais dos dois primeiros CPs em duas dimensões, que 67,14% da variância devem-se à variação temporal representada pelos níveis de salinidade. No CP2, é possível observar que 15,58% da variância, devem-se aos tipos de adubação utilizados (com e sem adubação orgânica). Corrar et al. (2009) afirmam que CPs com valores acima de 64% são tidos como satisfatórios, pois indicam correlação acima de 80% entre as variáveis padronizadas e da parte comum.

Carvalho et al. (2010) afirmam que são necessários 7 fatores para explicar 60% da variação total, sendo que o fator 1 – CP1, que explica 13,47% e o CP2 11,04% da variação. Resultados estes que diferem dados obtidos neste estudo, mesmo utilizando a mesma espécie. Já Bezerra Neto et al. (2008) ao estudar o desempenho de cenoura avaliados através de métodos uni e multivariados verificaram não haver diferença entre os componentes

principais. Resultado este que difere do obtido no presente estudo, no entanto cabe evidenciar que a utilização da matriz dos componentes mesmo não havendo diferença significativa é bastante informativa em razão da maior capacidade discriminante, além da descrição da superioridade relativa dos tratamentos por meio da técnica das variáveis canônicas.

### *Correlação entre variáveis*

A matriz de correlação (Anti-imagem Correlation) indica o poder de explicação dos fatores em cada uma das variáveis analisadas (Tabela 4). Corrar et al. (2009) afirmam que, a diagonal da matriz (Anti-imagem Correlation) apresenta a análise do sistema de medição (MAS) de cada variável analisada, e os valores superiores a 0,50 são considerados adequado aos pressupostos da utilização da análise fatorial (AF) e de componentes principais (ACP).

Tabela 4. Matriz de correlações para as variáveis de crescimento e qualidade da raiz de cenoura sob níveis de salinidade da água de irrigação e tipos de adubação

Variáveis	AP	NF	AF	DSR	DIR	MFR	MSR	°BRIX
AP	1,00	0,79*	0,85*	0,85*	0,44	0,80*	0,46	0,55*
NF		1,00	0,70*	0,79*	0,25	0,79*	0,58*	0,51*
AF			1,00	0,68*	0,50*	0,68*	0,32	0,66*
DSR				1,00	0,57*	0,91*	0,63*	0,64*
DIR					1,00	0,40	-0,07	0,25
MFR						1,00	0,82*	0,69*
MSR							1,00	0,69*
°BRIX								1,00

Legenda: \*correlação superior a 0,50; AP = altura de plantas; NF = número de folhas; AF = área foliar; DSR = diâmetro superior da raiz tuberosa; DIR = diâmetro inferior da raiz tuberosa; MFR = massa fresca da raiz tuberosa; MSR = massa seca da raiz tuberosa; e teor de sólidos solúveis totais (°Brix).

Verifica-se que, todas as variáveis apresentam correlação superior a 0,50, com pelo menos umas das outras variáveis de qualidade agrônômica de raízes de cenoura (Tabela 4). Com base nos dados obtidos pela matriz de correlações, é possível classificar as correlações com base na recomendação de Dancey e Reidy (2013), onde as correlações,  $r = |0,10|$  até  $|0,30|$  (fraca);  $r = |0,40|$  até  $|0,6|$  (moderada);  $r = |0,70|$  até  $|1,00|$  (forte). Constata-se correlação muito forte e positiva entre as variáveis: altura de plantas (AP) e área foliar (AF) ( $r= 0,85$ ), altura de plantas (AP) e diâmetro superior da raiz (DSR) ( $r=0,85$ ), e diâmetro superior da raiz (DSR) e massa fresca da raiz (MFR) ( $r = 0,91$ ).

Carvalho et al. (2010) obtiveram correlação de diâmetro com produção de

( $r=0,90$ ), altura de plantas e comprimento da raiz de ( $r=0,90$ ), consideradas correlações fortes, semelhante ao obtido neste estudo. As correlações muito fortes entre as variáveis de crescimento e as de qualidade das raízes são esperadas, uma vez que, estão correlacionadas com a produção de fotoassimilados e produtividade das plantas.

#### Componentes principais selecionados

No primeiro fator CP<sub>1</sub> as variáveis AP, NF, DSR, MFR, MSR e °Brix, apresentam peso superior a 0,75, indicando que essas variáveis são as mais significativas na definição da qualidade das raízes de cenoura sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e tipos de adubação (Tabela 5).

Tabela 5. Matriz de peso fatorial das variáveis da qualidade agrônômica das raízes de cenoura submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e tipos de adubação nos dois componentes principais selecionados

Variável	CP <sub>1</sub>	CP <sub>2</sub>
AP	-0,83*	0,50
NF	-0,94*	0,13
AF	-0,25	0,79*
DSR	-0,93*	0,18
DIR	0,28	0,81*
MFR	-0,97*	-0,09
MSR	-0,83*	-0,51
°BRIX	-0,77*	-0,21

Legenda: CP - Componente principal; e \* - Variável selecionada no componente principal.

Os fatores que possuem peso superior a 0,75 são indicativos de forte carga entre as variáveis da qualidade agrônômica de raízes de cenoura e os níveis de salinidade da água aplicados via irrigação; assim, este fator representa o indicativo do efeito do nível salino

sobre estas variáveis de qualidade agrônômica (Tabela 5).

Luz et al. (2009), estudaram diferentes níveis de salinidade na cultura da cenoura cv. Brasília e obtiveram que, as variáveis de crescimento e qualidade de raiz foram as mais

influenciadas quando submetidos a tratamentos salinos superiores a 0,1 dS m<sup>-1</sup>, neste estudo os níveis salinos foram bem superiores em função disto pode ter ocorrido maiores efeitos. Resultados semelhantes foram obtidos por Medeiros et al. (2012) e Melo et al. (2011) para tomate e meloeiro, respectivamente.

O segundo fator é explicado pelas variáveis: área foliar (AF) e Diâmetro inferior da raiz (DIR), os quais indicam que, a adubação com húmus de minhoca pode ter contribuído para atenuar o efeito da irrigação com água salina (Tabela 5). Melo et al. (2011) também constataram, avaliando a interação entre salinidade e adubação nitrogenada na cultura do meloeiro, que a adubação nitrogenada pode ser um atenuante do efeito dos níveis mais elevados de salinidade nas plantas.

Silva et al. (2002), estudando o substrato orgânico de vermicompostagem

constataram que, este húmus de minhoca possui 14.200 mg/dm<sup>3</sup> de nitrogênio. A quantidade de nitrogênio do húmus de minhoca do presente estudo pode ter contribuído para atenuar o efeito da salinidade.

*Projeção bidimensional nas CP<sub>1</sub> e CP<sub>2</sub>*

O resultado da correlação entre a combinação das variáveis analisadas e dos tratamentos (Salinidade = S) e (tipos de adubação = A) com os escores das duas componentes principais geradas pela análise fatorial (CP<sub>1</sub> e CP<sub>2</sub>), que respondem por 82,73% da variabilidade acumulada encontra-se na (Figura 3A). Observam-se como as variáveis e os tratamentos agrupam-se e como são suas relações com os eixos (XY), com as cargas fatoriais e com as componentes principais (CP<sub>1</sub> e CP<sub>2</sub>) através das técnicas da Análise Fatorial e Análise de Componentes Principais (Figura 3A).

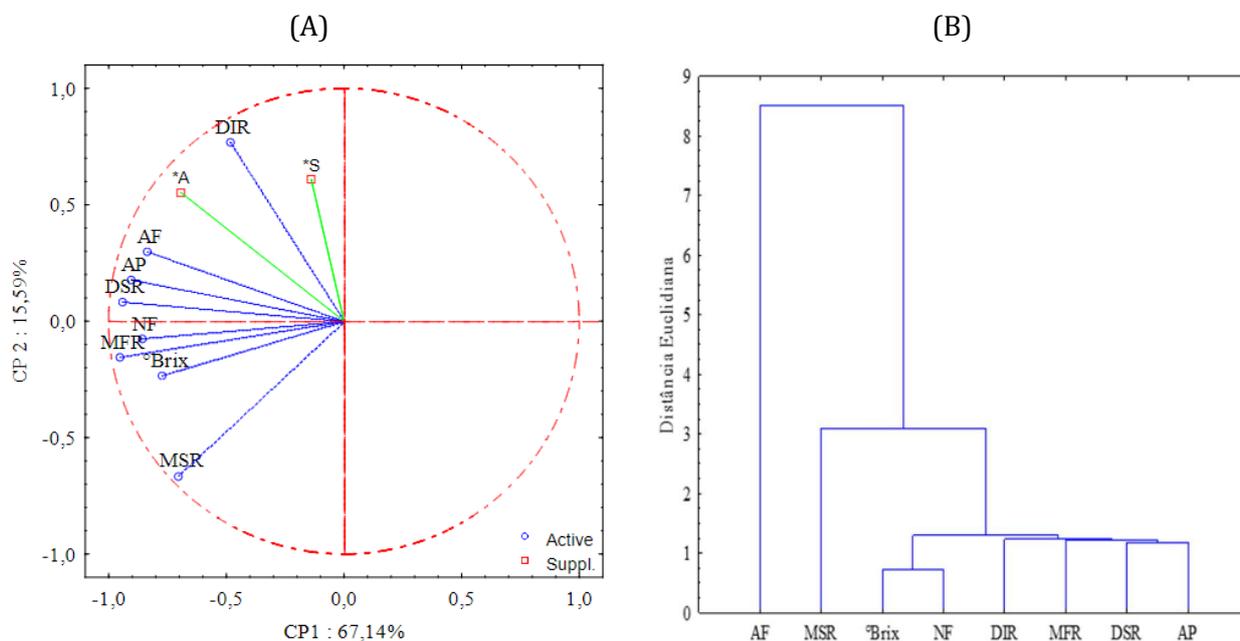


Figura 3. Biplot contendo as variáveis estudadas da qualidade agrônômica das raízes de cenoura em função dos níveis de salinidade e tipos de adubação para os componentes CP<sub>1</sub> e CP<sub>2</sub> (A) e dendrograma dos métodos de agrupamento hierárquicos a partir da distância euclidiana média (B).

A correlação das oito variáveis de crescimento, produção e qualidade da cenoura e dos tratamentos com os escores das duas componentes principais geradas pela análise fatorial (CP<sub>1</sub> e CP<sub>2</sub>), evidenciam que estas variáveis analisadas e os tratamentos formam grupos por similaridades de explicação, ou seja, estão agrupadas por componentes (CP) (Figura 3A). As variáveis que melhor representam a CP<sub>1</sub> formam grupo distinto das demais, e são representadas pelas variáveis: °Brix, NF, MFR e MSR, estando localizadas distantes da origem

dos eixos XY, denominado de plano fatorial, sendo estas que possuem uma maior representatividade na CP<sub>1</sub> (Figura 3A).

E as variáveis que melhor representam a CP<sub>2</sub>, formam o segundo grupo distinto, e são representadas pelas variáveis: DSR, DIR, AP, AF, salinidade (S) e Tipos de adubação (A) estando localizadas distantes da origem dos eixos (Figura 3A). Outro fato importante, é que algumas variáveis estão bem próximas ao círculo unitário, indicando que estas possuem uma maior contribuição, em relação as variáveis

que estão mais afastadas (DIR, DSR, MFR e MSR). Estes resultados corroboram com os obtidos para a cultura da cenoura Carvalho et al. (2010); cenoura e alface Bezerra Neto et al. (2007) e melão por Andrade et al. (2017).

A análise de agrupamento hierárquico ou de cluster (AHH) a partir das distâncias euclidianas proporcionou a formação de quatro grupos (Figura 3B). O primeiro formado pela área foliar (AF), o segundo pela massa seca de raiz (MSR), o terceiro pelo °Brix e o número de folhas (NF). Por fim, o quarto grupo formado pelo diâmetro inferior da raiz (DIR), massa fresca da raiz (MSR), diâmetro superior das raízes (DSR) e altura de plantas (AP).

Verifica-se que o ponto ótimo de formação dos grupos de similaridade se encontra aproximadamente no ponto 1 da distância euclidiana, pois, a partir deste, ocorre o distanciamento maior na medida de similaridade para a formação dos grupos (Figura 3B). Percebe-se que, os grupos 1 e 3 foram os de maior representatividade, pela CP1 com 46,93%. Os grupos 2 e 4 foram os de menor representatividade pela CP2 (16,19%). Silva et al. (2011) também verificaram maior similaridade para as características biométricas de comprimento e peso de raízes de cenoura, uma vez que estas estão intimamente relacionadas com a produtividade da cultura e teor de Brix°. Esta similaridade do plano fatorial permite confirmar se as variáveis que estão no mesmo grupo são as mesmas que explicam determinada CP, confirmando com o que preconiza Ranamukhaarachchi et al. (2017) e Yi et al. (2017).

### Conclusão

O uso da estatística multivariada mostrou-se uma ferramenta útil no estudo entre as correlações dos diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e os tipos de adubação, a fim de verificar o efeito na qualidade agrônômica de cenoura.

O nível de salinidade de 0,7 dS m<sup>-1</sup> associada a adubação com húmus de minhoca favoreceu a qualidade agrônômica das raízes de cenoura.

O efeito da salinidade nos níveis elevados foi atenuado pela adubação orgânica com húmus de minhoca.

### Referências

ANDRADE, A. R. S.; CRUZ, A. F. S.; BEZERRA, T. M. E.; LIMA, J. R. S. Aplicação da estatística multivariada na identificação das

características biométricas de produção e qualidade de frutos do melão. *Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science*, v.10, n.1, p.25-40, 2017.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p.

BERTOLLI, S. C.; SOUZA, J.; SOUZA, G. M. Caracterização fotossintética da espécie isohídrica pata-de-elefante em condições de deficiência hídrica. *Revista Caatinga*, v.28, p.196-205, 2015.

BEZERRA NETO, F.; GOMES, E.G.; NUNES, G.H.S.; OLIVEIRA, E.Q. Desempenho de sistemas consorciados de cenoura e alface avaliados através de métodos uni e multivariados. *Horticultura Brasileira*, v.25, n.4, p.514-520. 2007.

CARVALHO, A. D. F.; SILVA, G. O.; PINHEIRO, J. B.; VIEIRA, J. V.; BISCAIA, D. Análise de fatores para os descritores de caracterização das raízes em cenoura. *Horticultura Brasileira*, v.28, Edição Especial, p.2659-S2664, 2010.

CORRAR, L. J.; PAULO, E.; DIAS FILHO, J. M. Análise multivariada: para cursos de administração, ciências contábeis e economia. São Paulo: Atlas, 2009. 568p.

DANCEY, C.; REIDY, J. Estatística Sem Matemática para Psicologia. Porto Alegre: Artmed, 2013. 608p.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F.; SOUZA, E. R.; FERREIRA, J. F.; SOUSA NETO, O. N.; QUEIROZ, I. S. R. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados. 2 ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. p.151-161.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos. 4.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2014. 353p.

FREIRE, J. L. O.; CAVALCANTE, L. F.; DIAS, T. J.; DANTAS, M. M. M.; MACEDO, L. P. M.; AZEVEDO, T. A. O. Teores de micronutrientes no solo e no tecido foliar do maracujazeiro amarelo sob uso de atenuantes do estresse salino. *Agropecuária Técnica*, v.35, n.1, p.65-81, 2015.

HAIR, F. J.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. Análise Multivariada de Dados. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688p.

KRÄHMER, A.; BÖTTCHER, C.; RODE, A.; NOTHNAGEL, T.; SCHULZ, H. Quantifying biochemical quality parameters in carrots (*Daucus carota* L.) – FT-Raman spectroscopy as

- efficient tool for rapid metabolite profiling. *Food Chemistry*, v.212, n.1, p.495-502, 2016.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2009. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 15 de maio de 2019.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2011. O Brasil em municípios. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Acesso em: 23 de Maio de 2017.
- LUZ, J. M. Q.; SILVA JÚNIOR, J. A.; TEIXEIRA, M. S. S. C.; SILVA, M. A. D.; S. G. M.; MELO, B. Desempenho de cultivares de cenoura no verão e outono-inverno em Uberlândia-MG. *Horticultura Brasileira*, v.27, n.1, p.96-99, 2009.
- MAO, P.; ZHANG, Y.; CAO, B.; GUO, L.; SHAO, H.; CAO, Z.; JIANG, Q.; WANG, X. Effects of salt stress on eco-physiological characteristics in *Robinia pseudoacacia* based on salt-soil rhizosphere. *Science of The Total Environment*, v.568, n.15, p.118-123, 2016.
- MEDEIROS, P. R. F.; DUARTE, S. N.; UYEDA, C. A.; SILVA, E. F. F.; MEDEIROS, J. F. Tolerância da cultura do tomate à salinidade do solo em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.1, p.51-55, 2012.
- MELO, T. K.; MEDEIROS, J. F.; ESPÍNOLA SOBRINHO, E.; FIGUEIRÊDO, V. B.; PEREIRA, V. C.; CAMPOS, M. S. Evapotranspiração e produção do melão Gália irrigado com água de diferentes salinidades e adubação nitrogenada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.12, p.1235-1242, 2011.
- NASCIMENTO, I. B.; MEDEIROS, J. F.; ALVES, S. S. V.; LIMA, B. L. C.; SILVA, J. L. A. Desenvolvimento inicial da cultura do pimentão influenciado pela salinidade da água de irrigação em dois tipos de solos. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v.11, n.1, p.37-43, 2015.
- NETO, F. B.; OLIVEIRA, L. J.; SANTOS, A. P.; LIMA, J. S. S.; SILVA, I. N. Otimização agroeconômica da cenoura fertilizada com diferentes doses de jirirana. *Revista Ciência Agronômica*, v.45, n.2, p.305-311, 2014.
- RANAMUKHAARACHCHI, S. A.; PEIRIS, R. H.; MORESOLI, C. Fluorescence spectroscopy and principal component analysis of soy protein hydrolysate fractions and the potential to assess their antioxidant capacity characteristics. *Food Chemistry*, v.217, n.1, p.469-475, 2017.
- RHOADES, J. D. Drainage for salinity control. In: VAN SCHILFGAARDE, J. (Ed.). *Drainage for Agriculture*. Madison: SSSA, 1974. p.433-461. (Agronomy Monograph, 17).
- RICHARDS, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: United States Salinity Laboratory, 1954. 160p.
- SANTOS, B. D. B.; BONOU, S. I.; MATOS, R. M.; SILVA, P. F.; CABRAL, J. H. A.; OLIVEIRA, R. C.; DANTAS NETO, J.; LIMA, V. L. A. Tratamento pré-germinativo de sementes de cebolinha com peróxido de hidrogênio. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v.10, n.5, 2019.
- SILVA, C. D.; COSTA, L. M.; MATOS, A. T.; CECON, P. R.; D. SILVA, D. D. Vermicompostagem de lodo de esgoto urbano e bagaço de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.3, p.487-491, 2002.
- SILVA, A.G.P.; AGUIAR JÚNIOR, R.A.; CHAVES, A.M.S.; DINIZ, N.B.; SANTOS, F.N. Avaliação da Relação entre Características Biométricas de Cenoura (*Daucus carota* L.). *Horticultura Brasileira*, v 29, edição especial, p.S2003-S2009, 2011.
- STORCK, C. R.; NUNES, G. L.; OLIVEIRA, B.; BASSO, C. Folhas, talos, cascas e sementes de vegetais: composição nutricional, aproveitamento na alimentação e análise sensorial de preparações. *Ciência Rural*, v.43, n.3, p.537-543, 2013.
- TEIXEIRA, L. J. Q.; POLA, C. C.; JUNQUEIRA, M. S.; MENDES, F. Q.; RODRIGUES JUNIOR, S. R. Cenoura (*Daucus carota*): processamento e composição química. *Enciclopédia Biosfera*, v.7, n.12, p.1-21, 2011.
- YI, S.; LAI, Z.; HE, Z.; CHEUNG, Y.; LIU, Y. Joint sparse principal component analysis. *Pattern Recognition*, v.61, n.1, p.524-536, 2017.

**Capítulo 4**

**UTILIZAÇÃO DA SÉRIE DE FOURIER PARA CARACTERIZAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DOS MUNICÍPIOS DE LAGOA SECA E ALAGOA NOVA-PB**

**Joelma Vieira do Nascimento Duarte<sup>1</sup>**

**José Fideles Filho<sup>2</sup>**

**Dermeval Araújo Furtado<sup>3</sup>**

**Valquiria Cordeiro da Silva<sup>4</sup>**

**Paulo Roberto Megna Francisco<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Doutoranda do PPGEA/CTRN/UFCG, Campina Grande-PB, joelmavnduarte@hotmail.com

<sup>2</sup>Prof. Dr. UEPB, Campina Grande-PB, fidelesfilho@uol.com.br

<sup>3</sup>Prof. Dr. Depto. Eng. Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, araujodermeval@gmail.com

<sup>4</sup>Mestranda do PPGEA/CTRN/UFCG, Campina Grande-PB, valquiriacordeiro1@gmail.com

<sup>5</sup>Doutor em Eng. Agrícola UFCG, Campina Grande-PB, paulomegna@gmail.com

### **Introdução**

A água é um elemento indispensável à vida e, por isso, constitui um problema social em diversos países, principalmente em razão do crescimento populacional e da má utilização deste recurso. A maior parte da região Nordeste do Brasil se situa dentro da zona semiárida, e enfrenta problemas que afetam os ecossistemas naturais, decorrentes das secas periódicas, acarretando, também, problemas de cunho econômico, social e ambiental (ALVES SOBRINHO et al., 2015).

Ainda de acordo com Alves Sobrinho et al. (2015), as regiões semiáridas têm como característica principal as chuvas irregulares, variando espacialmente e de um ano para outro, de forma considerável, até mesmo dentro de alguns quilômetros de distância e em escalas de tempo diferentes, tornando as colheitas das culturas imprevisíveis.

De acordo com o censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE em 2014, a Paraíba está localizada na região Nordeste e dispõe de 56 mil e 584 quilômetros quadrados. Limita-se ao Norte com o Estado do Rio Grande do Norte, ao Sul, com Pernambuco, a Oeste com Estado do Ceará e a Leste com o Oceano Atlântico.

Araújo et al. (2003), afirmam que a Paraíba é o Estado do Nordeste que apresenta uma das maiores variabilidades espaciais nas chuvas, apresentando o Agreste/Litoral valores acima de 1083,4 mm, em média, seguido do Sertão, com valores de 821,9 mm e por fim a região do Cariri/Curimataú com média de até 516,1 mm.

Sabendo-se que a precipitação pluvial constitui um ramo do ciclo hidrológico cujo regime é determinado por suas características

físicas, topográficas, geológicas e por seu clima (ARAÚJO et al, 2003), torna-se um dos elementos meteorológicos que apresenta maior variabilidade tanto no espaço, de uma localidade ou região para outra, como no tempo, intermensal e/ou interanual (ALMEIDA, 2003).

Dessa forma, a precipitação pluvial é um elemento climático que tem influência direta nas demais variáveis que compõem o meio ambiente, sendo de suma importância no desenvolvimento da fauna e da flora que compõe um ecossistema, portanto, torna-se necessário, conhecer ou estimar as precipitações de cada região, como forma de amenizar os efeitos da estiagem (ALMEIDA et al., 2010).

As medidas de enfrentamento político, social e econômico das ações provocadas pelos longos períodos de estiagem no Estado da Paraíba não são simples e requerem planejamento. Conforme Oliveira et al. (2009), as decisões políticas são de suma importância, via planejamento para colocar em prática as ações, que podem ser de curto, médio e longo prazo e para que tais decisões sejam colocadas em prática, é necessário amparo científico ou exercício da parte que lhe cabe. Sendo assim, políticas de incentivo à pesquisa por meio dos órgãos de fomento devem ser estabelecidas e os resultados obtidos por meio do trabalho científico devem chegar à população a qual deve ser estimulada e auxiliada a colocá-los em prática.

Conforme o capítulo 12 da Agenda 21 (2001), dentre as seis áreas programas para um plano de ação regional, destaca-se o fortalecimento da base de conhecimentos e elaboração de sistemas de informação e observação sistemática das regiões expostas às

secas, bem como dos aspectos econômicos e sociais desses sistemas.

Esclarecida a importância do estudo do regime pluvial, tal estudo, nesse trabalho, foi realizado por meio do uso das Séries de Fourier.

A série de Fourier foi desenvolvida como subsídio matemático ao estudo da transferência de calor, porém sua aplicação estendeu-se a outros ramos, como a física, engenharia e matemática (RICIERI, 1988), permitindo aos profissionais realizarem algumas previsões, como riscos de investimentos nas bolsas de valores, comportamentos de partículas em laboratórios, análises de temperatura atmosférica e precipitações pluviais (DUARTE, 2017).

Os fenômenos e as grandezas físicas presentes na atmosfera terrestre, por apresentarem caráter de periodicidade, podem ser descritos com o uso das séries de Fourier, a exemplo das precipitações em suas variações sazonais, radiação no topo da atmosfera, padrões de vento, temperatura e umidade do ar (AYOADE, 2002). Apesar da existência de estudos acerca da periodicidade das precipitações pluviais, torna-se necessário ampliar seus estudos, principalmente na região do semiárido e Agreste Paraibano, para uma nova avaliação de sua periodicidade e sua consequência no meio ambiente da região devido às mudanças climáticas ocorridas (AMARAL, 1968; GARCEZ, 1974; AYOADE, 2002).

Portanto, este trabalho tem como objetivo avaliar os dados pluviométricos dos municípios de Alagoa Nova e Lagoa Seca, localizadas no Agreste Paraibano, região semiárida do Estado utilizando a série de Fourier aplicada a séries históricas de dados pluviométricos dos referidos municípios com dados não inferiores a trinta anos.

### Material e Métodos

No Nordeste Brasileiro (NEB) os principais mecanismos causadores de chuvas são os Sistemas Frontais, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e as perturbações ondulatórias no campo dos ventos alísios (MOLION & BERNARDO, 2002). A dinâmica da atmosfera se processa em diferentes escalas de espaço e de tempo, em função da ocorrência de fenômenos que operam

em escala global tais como as grandes células de circulação meridional, El Niño/La Niña e Oscilação Sul (ENOS), Dipolo do Atlântico e em fenômenos que se processam regionalmente como no caso das massas de ar e sistemas atmosféricos secundários que são capazes de alterar o funcionamento habitual da circulação geral da atmosfera (VAREJÃO-SILVA, 2006; ARAGÃO, 1998; FRANÇA et al., 2000). Os principais sistemas responsáveis são a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (SERRA, 1941; HASTENRATH & HELLER, 1977), as Frentes Frias (ARAGÃO, 1975; KOUSKY, 1979), os Distúrbios de Leste ou Ondas de Leste (YAMAZAKI & RAO, 1977) e os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) (ARAGÃO, 1975; KOUSKY & GAN, 1981). A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que é o principal sistema meteorológico provedor de chuvas no setor norte do NEB, onde o Estado da Paraíba está inserido. Normalmente a ZCIT migra sazonalmente de sua posição mais ao norte, aproximadamente 12°N, em agosto-setembro para posições mais ao sul e aproximadamente 4°S, em março-abril (UVO, 1989). A Frente Fria é outro importante sistema causador de chuvas na Paraíba. A penetração de Frentes Frias até as latitudes tropicais entre os meses de novembro e janeiro é responsável pelas chuvas na faixa litorânea da região. As frentes frias são bandas de nuvens organizadas que se formam na região de confluência entre uma massa de ar frio (mais densa) com uma massa de ar quente (menos densa). A massa de ar frio penetra por baixo da quente, como uma cunha, e faz com que o ar quente e úmido suba, formando nuvens convectivas e estratiformes e consequentemente as chuvas (KOUSKY, 1979).

A Paraíba é caracterizada por dois regimes de chuvas, um correspondente de fevereiro a maio, regiões do Alto Sertão, Sertão e Cariri/Curimataú, e o outro de abril a julho no Agreste, Brejo e Litoral. Tais regiões homogêneas foram determinadas por Braga e Silva (1990) através de técnicas objetivas de análise multivariada, estendidas por Silva (1996), distribuídas no Litoral, Brejo, Agreste, Cariri/Curimataú, Sertão e Alto Sertão.

A área ocupada pelo Agreste situa-se numa estreita faixa, paralela à costa, conforme pode ser observado na Figura 1.

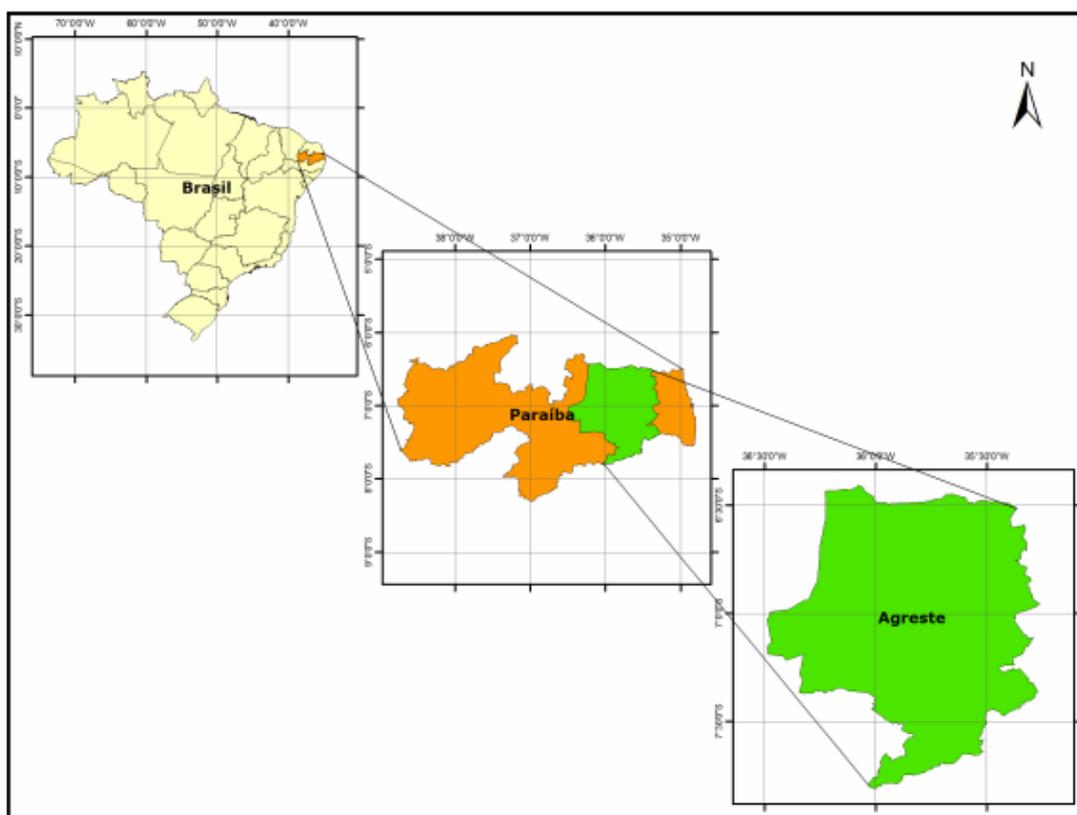


Figura 1. Localização da área de estudo. Fonte: Farias et al. (2014).

A área de estudo é composta pelos municípios de Lagoa Seca e Alagoa Nova, localizados na região do Agreste do estado da Paraíba, região da Chapada da Borborema e zona de transição entre o Cariri e o Litoral (OLIVEIRA et al., 2014), conforme pode ser observado na Figura 2. Seu índice pluviométrico varia de 700 a 1000 mm.ano<sup>-1</sup>, devido

principalmente a alta altitude (540 m), sendo o clima tropical quente-úmido, com temperatura média anual de 26°C (ALMEIDA et al., 2010). Em algumas regiões, existem pequenas áreas úmidas e brejos, onde se desenvolvem atividades agrícolas, conforme Farias et al. (2014).



Figura 2. Localização da área de estudo.

Os dados pluviométricos utilizados foram cedidos pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AES/A), pela Empresa Paraibana de Pesquisa Agropecuária

da Paraíba (EMEPA), pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e obtidos por meio dos Anais da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) por

meio de séries históricas de dados pluviométricos das referidas regiões, com dados não inferiores a trinta anos.

Os dados foram tabulados em planilha eletrônica e normalizados e homogeneizados, em seguida foram determinados os coeficientes de Fourier para os dados pluviométricos dos municípios em estudo. Sendo posteriormente determinada a variância e a variância acumulada.

Em seguida foi determinada a contribuição de cada harmônico na série de Fourier, bem como o seu intervalo de significância no modelo obtido, de forma a evidenciar a eficácia do método para caracterizar o regime pluvial. Ao final da análise, foram gerados gráficos e tabelas dos comportamentos anuais da periodicidade da precipitação pluvial de forma a retratar o comportamento da precipitação pluvial nas regiões estudadas.

A Análise de Fourier tem como objetivo aproximar uma função  $f(t)$  por uma combinação linear de componentes senoidais, cada uma com dada frequência (MORETTIN, 2014). O conjunto  $\{w_n(t) = e^{int}, n = 0, \pm 1, \dots\}$  de funções ortogonais de período  $2\pi$ , forma a base para a Análise de Fourier.

De acordo com Conrad e Pollak (1950), a análise de Fourier pode ser obtida considerando as séries trigonométricas conforme a Equação 1.

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (p_n \cos\left(\frac{2n\pi x}{T}\right) + q_n \operatorname{sen}\left(\frac{2n\pi x}{T}\right)) \quad (\text{Eq.1})$$

Observa-se que todas as parcelas são periódicas em  $T$  e no conjunto de todos os valores possíveis de  $x$ , para os quais a Equação (1) converge, define-se uma função periódica também de período  $T$ . A essa série, denomina-se Série de Fourier e pode ser escrita conforme a Equação 2.

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left( p_n \cos\frac{n\pi x}{T} + q_n \operatorname{sen}\frac{n\pi x}{T} \right) \quad (\text{Eq. 2})$$

Sabe-se que os índices  $a_0, p_n$  e  $q_n$  são os coeficientes de Fourier e sua determinação, ao fazer uso das relações de ortogonalidade, possibilita a representação da função em questão na forma da Equação (2).

Considerando que a Equação (2) possui um período fundamental  $T$ , tem-se que sua

frequência fundamental é dada por  $\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$ , assim, a Equação (2) pode ser escrita conforme a Equação 3.

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (p_n \cos(n\omega_0 x) + q_n \operatorname{sen}(n\omega_0 x)) \quad (\text{Eq. 3})$$

Para determinar os coeficientes de Fourier, deve-se considerar as seguintes relações descritas conforme as Equações 4, 5 e 6.

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_0^T f(x) dx \quad (\text{Eq. 4})$$

$$p_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(x) \cos(n\omega_0 x) dx \quad (\text{Eq. 5})$$

$$q_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(x) \operatorname{sen}(n\omega_0 x) dx \quad (\text{Eq. 6})$$

Ainda segundo Conrad e Pollak (1950), para facilitar os cálculos, a Equação (2) pode ser reescrita da forma apresentada na Equação 7.

$$Y_t = a_0 + \sum_{n=1}^k \left[ p_n \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + q_n \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) \right] \quad (\text{Eq. 7})$$

Assim, pelas relações de ortogonalidade, considera-se  $a_0, p_n$  e  $q_n$  os coeficientes de Fourier, sendo descritos nas Equações 8, 9 e 10.

$$a_0 = a_k \operatorname{sen}, \quad (\text{Eq. 8})$$

$$p_n = a_k \cos A_k \quad (\text{Eq. 9})$$

Onde:  $a_k$  é dada por:

$$a_k = \sqrt{p_n^2 + q_n^2} \quad (\text{Eq. 10})$$

Sendo:  $Y_t$  os valores estimados;  $a_0$  as médias dos valores observados;  $p_n$  e  $q_n$  os coeficientes ortogonais das ondas senoidais;  $a_k$  a amplitude da onda;  $A_k$  o ângulo de fase;  $T$  o período da onda (1, 2, 3, 4,...);  $K$  o número de ondas;  $N$  o número de observações da série e  $t$  é o tempo.

Faz-se necessário o ajuste dos dados pluviométricos em ambas as amostras aos meses de 30 dias, visto que alguns meses possuem 31 dias, o mês fevereiro possui 28 dias e em anos bissextos, possui 29 dias. Tal ajuste foi realizado multiplicando-se o valor da precipitação mensal por 30/31, nos meses de 31

dias; para os anos bissextos, em fevereiro multiplica-se a precipitação por 30/29.

Obtidos os ângulos de fase, para que os harmônicos não fiquem defasados e origem

valores negativos, é necessário fazer um ajuste que pode ser observado na Figura 3 (CONRAD & POLLAK, 1950).

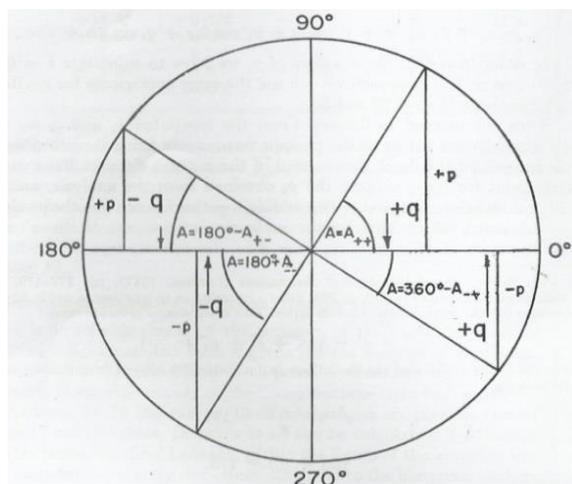


Figura 3. Diagrama para determinação do ângulo de fase. Fonte: Conrad e Pollak (1950).

Para um melhor ajuste dos dados, afim de não se obter valores muito elevados, divide-se as amplitudes pelo intervalo de tempo da série, isto é, o número de anos ao qual se refere à série histórica em questão.

Previamente à utilização dos dados na aplicação da análise harmônica, é importante testar sua homogeneidade de variâncias e normalidade. Conforme Amaral (1968), as precipitações mensais não se distribuem normalmente, fazendo com que as médias não sejam representativas. Sendo assim, uma prévia transformação dos dados a fim de normalizar a distribuição e homogeneizar as variâncias foi necessária.

Se as ondas não apresentarem normalidade e homogeneização, torna-se necessária a realização de uma transformação dos dados conforme Cardoso (2010) definida pela Equação 11.

$$z = x^{1-a} \text{ (Eq. 11)}$$

Sendo: a o coeficiente de indeterminação da reta formada pelos dados homogeneizados.

Dispondo de um conjunto de dados os quais possam ser obtidas suas médias,  $\bar{X}$ , e o desvio padrão, se os pares desses valores estiverem dispostos ao longo de uma reta paralela ao eixo das abscissas, considera-se que a média e o desvio padrão são independentes. Assim, conforme Amaral (1968) descrito nas Equações 12 e 13.

$$\sigma_z^2 = [Z'(\bar{X})]^2 \sigma_x^2 \text{ (Eq. 12)}$$

$$\sigma_z = Z'(\bar{X})\sigma_x = B \text{ (Eq. 13)}$$

Sendo: Z' o valor obtido pela transformação e B uma constante, a relação entre o desvio padrão e a média é da forma descrita nas Equações 14 e 15.

$$\sigma_x = B\bar{X}^a \text{ (Eq. 14)}$$

Considerando a equação de regressão da reta que descreve a transformação, ou seja:

$$Y = aX + b \text{ (Eq. 15)}$$

Tem-se o valor de a na Equação 11, como sendo um número real, de mesmo valor igual ao encontrado após aplicação da Equação 15. O valor Y é obtido do logaritmo do desvio padrão do total das precipitações obtidas durante o mês de janeiro, fevereiro, março, e assim, sucessivamente; e valor X é obtido pelo logaritmo da média das precipitações nos referidos meses.

De posse dos dados obtidos após a transformação, realizou-se uma nova análise harmônica a fim de obter novos valores para  $p_n$  e  $q_n$ , e, conseqüentemente, novos valores para as amplitudes, ângulos de fase e novas configurações para as ondas que representam o modelo.

Uma vez que possuindo dados de precipitações referentes a 12 meses, obtém-se cinco ondas senoidais (com períodos de 12, 6, 4, 12/5 e 2 meses), que oscilam acima e abaixo dos

valores de precipitação média mensal reduzidas a 30 dias, conforme Amaral (1968) e Andrade et al. (2006).

Posteriormente, entre essas cinco ondas, três foram escolhidas por apresentarem maior significância. A fim de testar a significância das harmônicas obtidas, foram realizados os testes estatísticos de análise de variância e o teste de Brunt.

## Resultados e Discussão

Os coeficientes de Fourier, amplitudes, fases, variância e variância acumulada para os cinco harmônicos obtidos na análise anual estão apresentadas nas Tabelas 1 e 2, correspondendo aos valores obtidos pela análise de Fourier para os harmônicos dos municípios de Alagoa Nova e Lagoa Seca-PB, respectivamente.

Tabela 15. Coeficientes de Fourier (P, Q), Amplitudes (a), Fases (A), Variância (Var), Variância acumulada (Var acum) para análise anual do município de Alagoa Nova-PB

I	1	2	3	4	5
$P_i$	-40,5	-7,4	38,9	-28,9	42,4
$Q_i$	-142,1	171,6	-80,9	42,9	-20,6
$a_i$	147,7	171,7	89,7	51,7	47,2
$A_i$	195,9	177,5	205,7	359,7	244,1
$Var_i$	32,83	44,23	12,22	4,05	3,32
$Var_i$ acum.(%)	32,83	77,06	89,28	93,33	96,65

Tabela 16. Coeficientes de Fourier (P, Q), Amplitudes (a), Fases (A), Variância (Var), Variância acumulada (Var acum) para análise anual do município de Lagoa Seca-PB

I	1	2	3	4	5
$P_i$	52,3	18,7	22,5	-5,0	15,9
$Q_i$	-29,0	28,9	5,4	61,4	46,9
$a_i$	59,8	34,4	23,1	61,6	49,6
$A_i$	240,9	32,9	76,5	184,7	18,7
$Var_i$	25,51	8,44	3,85	27,12	17,53
$Var_i$ acum. (%)	25,51	33,95	37,80	64,92	82,45

Verifica-se na Tabela 1 que o segundo harmônico apresenta maior contribuição no modelo da análise, e a variância acumulada nos cinco harmônicos totalizam 96,65%. Na Tabela 2, observa-se que o primeiro harmônico é mais significativo, e a variância nos cinco harmônicos totalizam 82,45%. Tal fato ocorre, porque para o município de Alagoa Nova-PB, que tem 98 anos de aferições, o número de harmônicos gerados pela Análise de Fourier é 48. Para Lagoa Seca-PB, que tem 32 anos de aferições, a análise gerou 15 harmônicos. Apesar do grande número de harmônicos gerados, observa-se que apenas os cinco primeiros são os que melhor descrevem o modelo, tendo os demais harmônicos uma menor contribuição, lhes conferindo as porcentagens faltantes para completar os 100% da variância acumulada, tal

qual ocorreu em Amaral (1968), no qual o referido autor utilizou a análise harmônica na base pêntrada para descrever o perfil pluviométrico mensal em Pelotas-RS, do período de 1900 a 1951.

Tais resultados corroboram com Amaral (1968), pois em seu trabalho ele afirma que em análises harmônicas, o modelo é descrito, na maioria das vezes, pelos três primeiros harmônicos, sendo que um desses é o que possui maior contribuição para a descrição do modelo.

Na Figura 4, estão apresentadas as precipitações totais anuais no eixo direito das ordenadas direita, estimada a partir dos cinco primeiros harmônicos da série de Fourier, no eixo esquerdo das ordenadas e a linha de tendência das precipitações em função do

tempo em anos para o município de Alagoa Nova-PB.

Verifica-se que, o intervalo entre dois picos de mínimo e máximo ocorrem a cada doze

anos, e os intervalos entre os picos de mínimo e dois picos de máximo ocorrem a cada cinco anos.

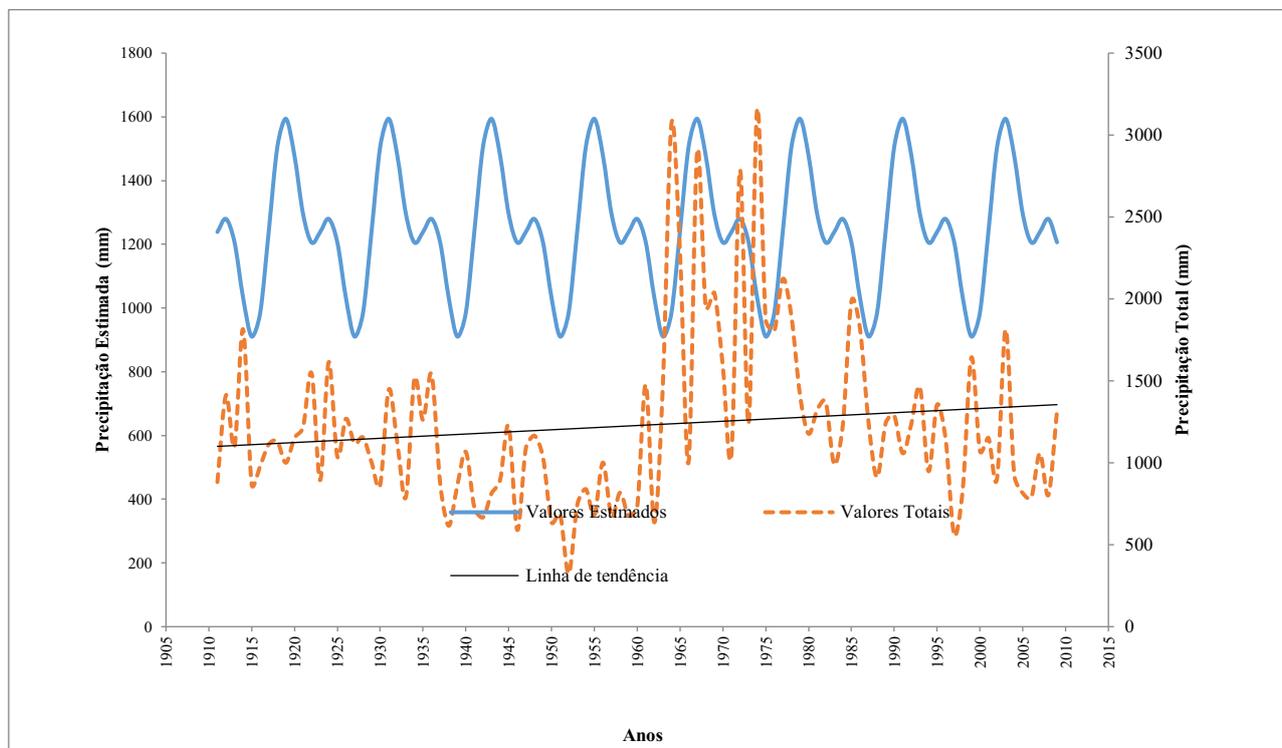


Figura 4. Precipitação total anual e estimada do município de Alagoa Nova-PB: composição dos cinco harmônicos.

Dessa forma, verifica-se na linha de valores estimados, que se no ano de 1999 ocorreu um pico de mínimo, e o próximo pico de mínimo ocorreu em 2011. Verifica-se a provável ocorrência de estiagens prolongadas.

Assim, se o pico de máximo ocorreu em 2003, o próximo pico de máximo ocorreu em 2015. Por sua vez, observa-se ainda a ocorrência de picos intermediários, e conforme observa-se na Figura 4, estima-se que provavelmente em 2018 ocorram precipitações totais anuais em torno de 1.205mm.

Observa-se também que, a linha de tendência é crescente em função do tempo, e que mesmo as chuvas sendo mal distribuídas ao longo do tempo e do espaço, há um crescimento linear das precipitações totais ao longo do tempo.

Salienta-se que tais resultados corroboram com Silva et al. (2015), quando informam que devido ao regime pluviométrico, os cultivos necessitam de maiores cuidados com

relação ao consumo hídrico e, portanto o manejo de água através da irrigação suplementar, principalmente as frutíferas. Conseqüentemente, ao se configurar o fenômeno El Niño é importante que o produtor tome as devidas precauções a fim de minimizar as perdas em sua lavoura. Para isto, o agricultor tem que realizar o plantio direto e utilizar sementes classificadas e seguir as regras do zoneamento agrícola.

Na Figura 5, estão apresentadas as precipitações totais anuais no eixo das abscissas direitas, e estimada a partir do primeiro e segundo harmônico da série de Fourier, no eixo das abscissas esquerda e a linha de tendência das precipitações em função do tempo em anos para o município de Lagoa Seca. Verifica-se que, os picos de mínimo e máximo ocorrem a cada doze anos consecutivos, e os intervalos entre os picos de mínimo e máximo ocorrem a cada cinco anos.

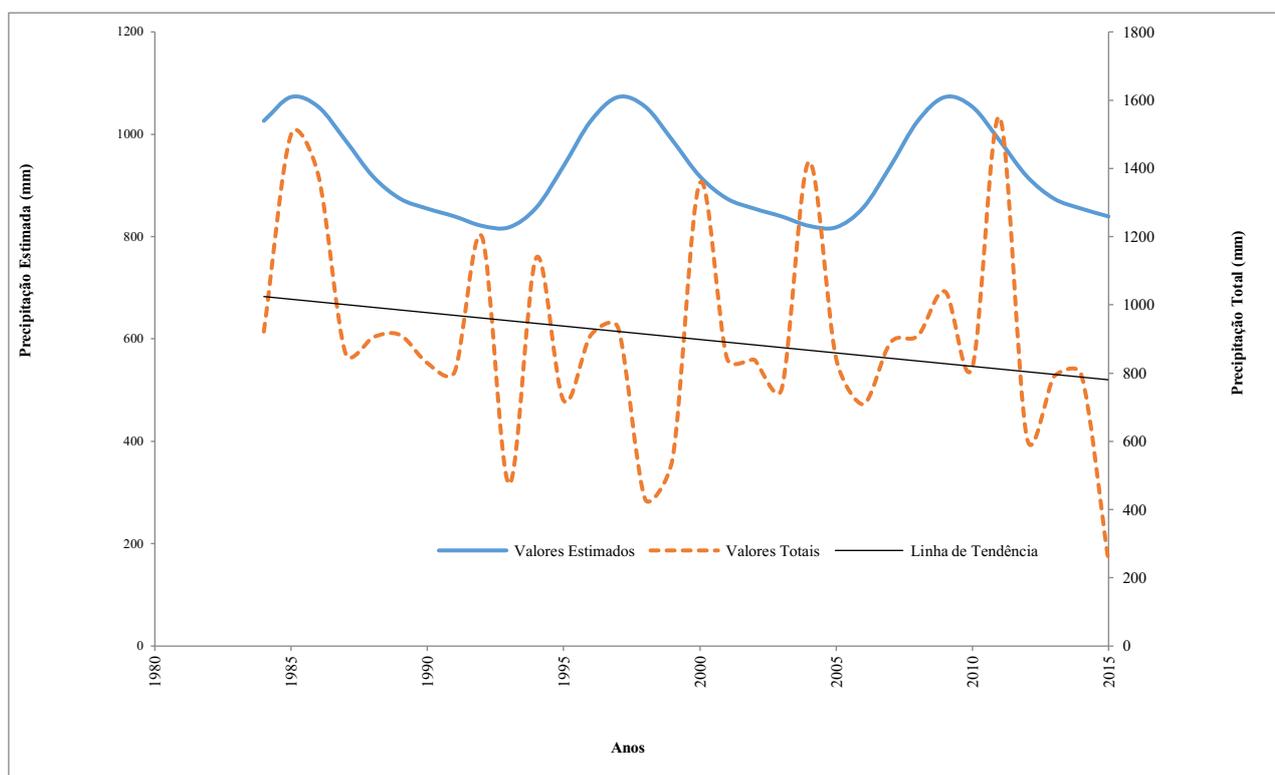


Figura 5. Precipitação total anual e estimada do município de Lagoa Seca-PB: composição dos cinco harmônicos.

Dessa forma, observa-se que se no ano de 2005 ocorreu um pico de mínimo, e o próximo pico de mínimo ocorreu em 2017. Verifica-se também a provável ocorrência de secas prolongadas. Assim, se o pico de máximo ocorreu em 2009, o próximo pico de máximo poderá ocorrer provavelmente em 2021. Por sua vez, os picos de mínimo e máximo alternam-se a cada a cada cinco anos, levando em consideração os dois municípios estudados.

Observa-se também que, a linha de tendência é decrescente em função do tempo, o que significa dizer que, ao passo em que as chuvas são mal distribuídas ao longo do tempo e do espaço, ainda ocorre um decréscimo linear das precipitações totais ao longo do tempo, o que pode ser explicado pelo fato da série histórica utilizada para Lagoa Seca seja compreendida entre os anos de 1984 a 2015, sendo esta inferior à série histórica do município de Alagoa Nova.

Em ambos os municípios, verifica-se a presença de um veranico durante o mês de maio, sendo este mais intenso no município de Lagoa Seca-PB, corroborando com os estudos de Oliveira et al. (2014).

O método utilizado comprovou haver uma periodicidade no regime de precipitação nas áreas de estudo, e os testes estatísticos demonstraram que, não há variação significativa entre as duas localidades. Nota-se

que, a pluviosidade anual acumulada aumentou ao longo da série para o município de Alagoa Nova, entretanto tal resultado não ocorreu em Lagoa Seca, mas também houve um declínio entre os dois picos de máximo e mínimo, evidenciando o veranico. Tais resultados mostraram-se satisfatórios visto que, Diniz (2008) obteve êxito em seu trabalho ao utilizar a mesma técnica quando aplicada em um município distinto.

O uso da análise harmônica por meio das séries de Fourier também pode ser evidenciado em Sousa et al. (2015), onde objetivou-se identificar a presença de variações cíclicas e sazonais nos índices do efeito do multicaminho em estações GPS (Global Positioning System) de monitoramento contínuo analisando correlogramas e periodogramas de Fourier.

Alves et al. (2013) também fizeram uso do referido método nas análises de séries temporais dos índices MP1 e MP2 em multicaminho em estações de monitoramento contínuo, obtendo êxito em seu trabalho.

## Conclusão

Conclui-se que para a análise anual, os cinco primeiros harmônicos foram os que melhor descreveram o modelo, e a variância acumulada dos cinco primeiros harmônicos dos referidos municípios variaram entre 79 a 96%,

conferindo uma alta confiabilidade do modelo no que se refere as precipitações anuais.

Para os dois municípios do Agreste, o intervalo entre dois picos de mínimo e dois picos de máximo ocorreram a cada doze anos, e o intervalo entre um pico de mínimo e um pico de máximo ocorreu a cada cinco anos, levando em consideração os dois municípios.

Verificou-se a ocorrência de um veranico (período de estiagem dentro da época chuvosa) no mês de maio, sendo este de maior intensidade no município de Lagoa Seca e para o município de Alagoa Nova apresentou-se um pouco mais discreto.

Os dois municípios em estudo apresentaram um período de estiagem prolongada, e tal fato afetou diretamente o regime hidrológico.

### Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela oportunidade de realização desse estudo a partir de financiamento de Bolsa de Pesquisa a primeira autora.

### Referência Bibliográfica

AGENDA 21. Conferência das Nações Unidas sobre o meio ambiente e desenvolvimento. Brasília: Senado Federal, 2001. 585p.

ALVES, D. B. M.; SOUZA, E. M.; KANESHIRO, V. Y.; SOUZA, J. S. Análise de séries temporais de multicaminho em estações de monitoramento contínuo. Boletim de Ciências Geodésicas, v.19, n.3, p.353-373, 2013.

ALVES SOBRINHO, R.; GATTI, F.; ZAMPARONI, C. A. G. P. O Clima e a agricultura. In: Encontro de Geografia de Mato Grosso e I Seminário de Pós-graduação em Geografia, 2015, Cuiabá. Anais...Cuiabá, 2015.

AMARAL, E. Análise harmônica. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.3, p.7-43, 1968.

ANDRADE, A. R. S.; PAIXÃO, F. A. R.; LEÃO, A. B.; AMARAL, I. G. Análise harmônica no estudo das chuvas no Município de Catolé do Rocha – PB. Revista de Biologia e Ciências da Terra, v.6, n.1, p.56-58, 2006.

ARAGÃO, J. O. R. O impacto do ENOS e do Dipolo do Atlântico no Nordeste do Brasil. Boll. Inst. Fr. Etudes Andines, v.27, n.3, p.839-844, 1998.

ARAGÃO, J. O. R. Um Estudo da Estrutura das Perturbações Sinóticas no Nordeste do Brasil. 51p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1975.

ARAÚJO, L. E. de; BECKER, C. T.; PONTES, A. de L. Periodicidade da precipitação pluviométrica no Estado da Paraíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13., 2003, Santa Maria. Anais... v.2, Santa Maria, p. 947-948, 2003.

AYOADE, J. O. Introdução à climatologia para os Trópicos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002. 332p.

BRAGA, C. C.; SILVA, B. B. Determinação de regiões pluviometricamente homogêneas no Estado da Paraíba. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 6, Salvador. Anais... Salvador, p.200-205, 1990.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Recomendações para a integração das considerações sobre biodiversidade na implementação da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima e o Protocolo de Quioto. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Brasília, 2007. 207p.

CARDOSO, D. S. Análise harmônica dos totais de chuva mensais de regiões homogêneas do Estado do Rio Grande do Sul. 116f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2010.

CONRAD, V.; POLLAK, L. W. Methods in climatology. Cambridge, Estados Unidos: Harvard University Press, 1950. 459p.

DUARTE, J. V. N. Caracterização do regime pluvial do semiárido paraibano utilizando série de Fourier. 60f. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental. Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande, 2017.

FARIAS, B. A.; OLIVEIRA, T. D.; OLIVEIRA, G. S.; VALDEVINO, D. S. A utilização de imagens SRTM na obtenção de dados altimétricos para a mesorregião do Agreste paraibano, através de software livre QGIS. In.: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias de Geoinformação, 5, 2014, Recife. Anais... Recife, 2014. p.597-601.

GARCEZ, L. N. Hidrologia. São Paulo. Edgard Blücher, 1974. 250p.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of Climatic Hazards in Northeast Brazil. Quarterly Journal Royal Meteorological Society, v.103, p.77-92, 1977.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2010. Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acesso em: 26 de maio de 2014.

- KOUSKY, V. E.; GAN M. A. Upper tropospheric cyclones vortices in the tropical South Atlantic. *Tellus*, v.33, p.538-551, 1981.
- KOUSKY, V. E. Frontal influences on Northeast Brazil. *Monthly Weather Review*, v.107, n.9, p.1140-1153, 1979.
- MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira Meteorologia*, v.17, n.1, p.1-10, 2002.
- MORETTIN, P. A. Ondas e Ondaletas: da análise de Fourier à análise de ondaletas de séries temporais. São Paulo: EDUSP, 2014. 276p.
- OLIVEIRA, R. C. S.; MEDEIROS, R. M.; COSTA NETO, F. A.; GOMES FILHO, M. F. Estudo das oscilações da temperatura máxima do ar e precipitação em Lagoa Seca-PB. In: *Workshop de Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco e Workshop Internacional sobre Mudanças Climáticas e Biodiversidade*, 1, Recife. Anais... Recife, 2014.
- OLIVEIRA, P. T.; SILVA, C. M. S.; LIMA, K. C. Linear trend of occurrence and intensity of heavy rainfall events Northeast Brazil. *Atmospheric Science Letters*, v.15, p.73-78, 2014.
- RICIERI, A. P. Construindo a série de Fourier. *Matemática Aplicada na Vida*. Edições Prandiano, 1988. 110p.
- SILVA, L.; ALMEIDA, H. A.; COSTA FILHO, J. F. Captação de água de chuvas na zona rural: uma alternativa para a convivência no semiárido nordestino. In: *Simpósio de Captação de Água de Chuvas no Semiárido*, 5, 2005, Teresina. Anais...Teresina, 2005.
- SILVA, E. P. Estudo da Vulnerabilidade socioeconômico ambiental e os riscos a desastre ENOS (El Niño Oscilação Sul) no município de Picuí - Paraíba: um estudo de caso. 140f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2002.
- SILVA, V. P. R.; MEDEIROS, R. M.; GOMES FILHO, M. F. Flutuação da precipitação em Alagoa Nova, Paraíba, em anos de "El Niño". In.: *II Workshop Internacional sobre água no semiárido brasileiro*. Editora Realize: Campina Grande, 8 p, 2015.
- SILVA DA, S. T. A Influência do El Niño-Oscilação Sul na distribuição espacial da precipitação no estado da Paraíba. 63p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande, 1996.
- SOUZA, E. M.; ALVES, D. B. M.; SCHUMACHER F. L. Harmonic analysis of multipath index time series in GPS stations. *Tendências em Matemática Aplicada e Computacional*, v.16, n.1, p.71-78, 2015.
- UVO, C. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a Precipitação da região Norte do Nordeste do Brasil. (INPE-4887-TDL/378). Dissertação (Mestrado em Meteorologia). São José dos Campos, INPE. 1989.
- VAREJÃO-SILVA, M. A. *Meteorologia e Climatologia*. Recife: INMET, 2006.
- VASCONCELOS SOBRINHO, J. Metodologia para identificação de processos de desertificação: manual de indicadores. Recife: SUDENE, 1978. 22p.
- YAMAZAKI, Y.; RAO, V. B. Tropical cloudiness over the South Atlantic Ocean. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, v.55, p.205-207, 1977.

## Capítulo 5

### **EFEITO DO INOCULANTE GEOFIX GRAMÍNEAS (*Azospirillum brasilense*) EM SORGO SILAGEIRO ASSOCIADO ÀS DOSES DE NITROGÊNIO**

**Paloma Alves da Silva Sexto<sup>1</sup>**  
**Fernanda Gracieli Machado Brum<sup>2</sup>**  
**Maico André Battisti<sup>3</sup>**  
**Silas Cleiton Soligo<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Eng. Agr. Dra. Prof. do Centro de Ensino Superior Riograndense – CESURG, Unidade Sarandi e da Faculdade Anhanguera de Passo Fundo, palomasexto17@gmail.com

<sup>2</sup>Quím. Ind. Me. Prof. do Centro de Ensino Superior Riograndense – CESURG, Unidade Sarandi e da Faculdade Anhanguera de Passo Fundo, fe896@hotmail.com

<sup>3</sup>Filosófo, Prof. do Curso Técnico em Agropecuária do Estado do Rio Grande do Sul, maicobattisti@gmail.com

<sup>4</sup>Eng. Agr., Lic. em Educação no Campo, Mestrando em Educação pela UFFS, Campus Erechim, silas.soligo@yahoo.com

#### **Introdução**

A silagem apresenta-se na bovinocultura leiteira e de corte como uma das principais alternativas no armazenamento de forragens, a fim de suprir o déficit alimentar dos rebanhos no decorrer do ano, sendo considerada uma prática simples e acessível aos pecuaristas na obtenção de resultados mais rentáveis e competitivos (FERRARI & LAVEZZO, 2001).

Segundo Evangelista & Lima, 2001, podem-se utilizar diversas espécies de plantas forrageiras na produção de silagem, dentre elas o milho, mais cultivado devido ao balanceamento de nutrientes; entretanto, sua produção e qualidade são incertas e suscetíveis a fatores abióticos. Já o sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), apresenta produções mais elevadas que o milho em condições desfavoráveis de cultivo (ROCHA JÚNIOR et al., 2000).

Conforme Resende (1991), a silagem de sorgo vem ganhando destaque, por possuir sistema radicular abundante e profundo, tendo maior tolerância à seca, sendo que a partir do emprego do melhoramento genético atingiu elevada produtividade em níveis quantitativos e qualitativos.

O sorgo encontra-se em quinto lugar entre os cereais mais semeados no mundo (MÜLLER, 1986). O solo brasileiro possui condições apropriadas de adaptação da cultura, onde a área cultivada expandiu-se consideravelmente a partir dos anos 90, mas atualmente não tem avançado pela falta de tradição (ZAGO, 1991).

Na busca de um sistema produtivo eficiente, com melhores índices na qualidade e volume da forragem a ser ensilada, deve-se

disponibilizar uma adequada nutrição à cultura (COELHO et al., 2002). Conforme Simili et al. (2010), o nitrogênio é o nutriente absorvido em maior quantidade por ser considerado essencial para o crescimento da cultura, constituinte das proteínas, responsável por características imprescindíveis nas plantas, tais com o metabolismo fotossintético, aumento do tamanho da folha, colmo, perfilhos, dentre outras.

A recomendação de adubação nitrogenada para o sorgo varia de 60 a 130 kg/ha<sup>-1</sup> de N, conforme a matéria orgânica do solo e a expectativa de produtividade (COMISSÃO DE FERTILIDADE, 2004). De acordo com Scivittaro et al. (2005), há uma necessidade de se avaliar o potencial de resposta do sorgo ao nitrogênio em doses mais elevadas. Os fertilizantes nitrogenados possuem custos elevados e quando aplicados em condições desfavoráveis não refletem a eficiência esperada, devido a perdas por lixiviação, volatilização e desnitrificação (CRISPINO et al., 2001).

O sistema de produção sob pastagem tem sido baseado em gramíneas. Nesse sentido, a adubação com o nitrogênio assume um papel fundamental na produção de forragem de alta produtividade e qualidade (FIORIN et al., 2015). O adubo nitrogenado proporciona também à elevação na produção de folhas e redução na senescência das mesmas, melhorando a relação folha/colmo e, como consequência, o teor de proteína bruta, em algumas situações, a digestibilidade, e isto tudo elevando o valor nutritivo da forragem (CECATO et al., 2001).

Um dos métodos para minimizar custos com adubação nitrogenada e aumentar a produtividade, é o uso de inoculação das

sementes com através das bactérias do gênero *Azospirillum brasilense*, as quais se associam à cultura e fixam nitrogênio gasoso (N<sub>2</sub>) para NH<sub>3</sub><sup>+</sup>, forma esta, assimilável pelas plantas (BERGAMASCHI, 2006). Sendo assim, Balieiro e Franco (1999), salientavam da importância em se realizar pesquisas direcionadas a cultura do sorgo, de forma que verificassem o potencial destas bactérias associadas as doses de nitrogênio.

Diante deste contexto, a presente pesquisa objetiva avaliar a produtividade de matéria verde da cultura do sorgo silageiro sob o efeito do inoculante Geofix gramínea (*Azospirillum brasilense*) em diferentes doses de nitrogênio.

### Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido no município de Getúlio Vargas, situado na região Norte do Estado do Rio Grande do Sul, à -27° 53' 25" de latitude e -52° 13' 39" de longitude, na safra de verão 2018/2019. O solo predominante é Latossolo Vermelho Distrófico, a altitude média do município é de 760 m, clima subtropical com variações térmicas entre 14 e 19°C, tendo precipitação pluviométrica média anual de 1.875mm (PMGV, 2019).

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 6, sendo que o primeiro fator avaliado foi com e sem inoculante, na dose equivalente a 10 ml/5 kg<sup>-1</sup> de sementes; o segundo, doses de adubação nitrogenada em cobertura, equivalente a 0, 50, 100, 150, 200, 250 kg/ha<sup>-1</sup> de N, na forma de ureia. Cada bloco, foi composto por 12 parcelas de 2,70 x 6 m, totalizando uma área útil de 16,2 m<sup>2</sup> e quatro repetições.

A semeadura mecanizada do híbrido de sorgo Agroceres AG 2005 E se deu em 20/11/2018 na profundidade média de 3 cm e espaçamento de 45 cm entrelinhas, com densidade de 170 mil sementes/ha<sup>-1</sup> e o tratamento das sementes foi com

Imidacloprido® 150 g/L<sup>-1</sup> e Tiodicarbe® 450 g/L<sup>-1</sup> na dose 350 ml/ha<sup>-1</sup>. A adubação utilizada de acordo com o resultado da análise de solo foi de 300 Kg/ha<sup>-1</sup> da fórmula 5-20-20.

O controle químico de plantas invasoras e da lagarta cartucho ocorreu em 23/12/2018, utilizando-se o herbicida Atrazina® 500 g/L<sup>-1</sup> na dose 4 L/ha<sup>-1</sup> e o inseticida Metamidofós® na dose 250 ml/ha<sup>-1</sup>, aplicados com pulverizador costal. Realizou-se manualmente a adubação nitrogenada em cobertura, na forma de ureia, variando de acordo com os tratamentos estabelecidos, sendo parcelada em duas aplicações, com a primeira ocorrendo em 28/12/2018 e a segunda em 25/01/2019.

O corte das plantas de sorgo foi efetuado no dia 31/03/2019, quando a cultura atingiu o ponto de ensilagem, em que o grão da porção média da panícula encontrava-se em consistência farinácea. Utilizou-se uma área de 1,80 m<sup>2</sup> para a coleta, sendo que foram retirados 2 metros centrais lineares das plantas pertencentes a terceira e quarta linha de cada parcela. Após, foram separadas as folhas e a panícula do colmo para pesar individualmente a massa verde, servindo como forma para a análise de dados, utilizando-se o método de Zuber (1942) para padronizar os mesmos.

Os dados coletados foram posteriormente analisados com o software estatístico CostTat, comparando as médias pelo Teste Tukey a 5% de significância.

### Resultados e Discussão

Conforme a Figura 1, pode-se observar que nas médias de cada tratamento, a utilização do inoculante geofix gramínea (*Azospirillum brasilense*) auxiliou num incremento na produtividade de massa verde em todas as doses, sendo que na dose de 100 kg de N/ha<sup>-1</sup> ocorreu um acréscimo de 6639,82 kg/ha<sup>-1</sup> em relação as não inoculadas, e a menor influência do inoculante ocorreu na dose de 250 kg de N, com aumento de 444,27 kg/ha<sup>-1</sup>.

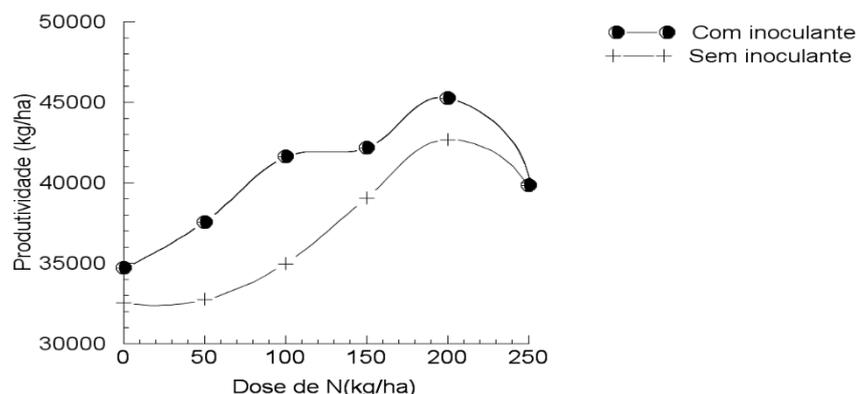


Figura 1. Produtividade de massa verde de sorgo em kg/ha em função de doses de nitrogênio em cobertura, com e sem inoculação de sementes com geofix gramínea (*Azospirillum brasiliense*).

Apesar de ocorrer um aumento considerável na produtividade, o uso do inoculante geofix gramínea (*Azospirillum brasiliense*), não apresentou diferença significativa ( $p > 0,05$ ) na produtividade de massa verde das plantas de sorgo em relação à testemunha não inoculada (Figura 1).

De acordo com Campos et al. (2000), nem sempre são obtidas respostas positivas de aumento de produção com a inoculação das sementes com “Graminante”, devido a influência de fatores bióticos correlacionados a fatores ambientais.

Homogeneizando as amostras desconsiderando o fator inoculação, avaliando

apenas a influência das doses de nitrogênio em cobertura, observou-se a ocorrência de diferenças significativas na média de produtividade (Tabela 1 e Figura 2), sendo que a dose de 0 kg de nitrogênio em cobertura proporcionou a menor produtividade observada com 33604,35 kg/ha<sup>-1</sup> e a dose de 200 kg de N foi a que se observou a maior produtividade.

Em relação as produtividades por partes da planta, a dose que proporcionou uma maior produção das folhas, cachos e colmos foi com 200 kg de N, e a menor, com 0 kg de N (Tabela 1).

Tabela 1. Produtividade de massa verde de sorgo silageiro em diferentes doses de nitrogênio em cobertura e produtividade por partes da planta (folhas, panícula, colmo) em kg e porcentagem em relação a produtividade total

Dose de N(kg/ha)	Produtividade massa verde (kg/ha)*						Total	Relação
	Folhas		Panícula		Colmo			
	kg	%	kg	%	kg	%		
0	5076,19c	15,1	9630,48b	28,65	18897,68 a	56,26	33604,35	0,784d
50	5588,95 bc	15,91	10811,49b	30,78	18715,93 a	53,29	35116,37	0,873 bc
100	6236,3 abc	16,29	12423,28 ab	32,46	19612,16 a	51,24	38271,75	0,949 bc
150	7129,69 abc	17,56	13098,16 ab	32,27	20352,39 a	50,15	40580,25	0,994 ab
200	8039,62 a	18,29	14780,16 a	33,62	21133,74 a	48,08	43953,54	1,08 a
250	7200,26 ab	18,18	12651,92 ab	31,95	19746,46 a	49,86	39598,65	1,006 ab

\*Médias seguidas pela mesma letra, maiúsculas na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

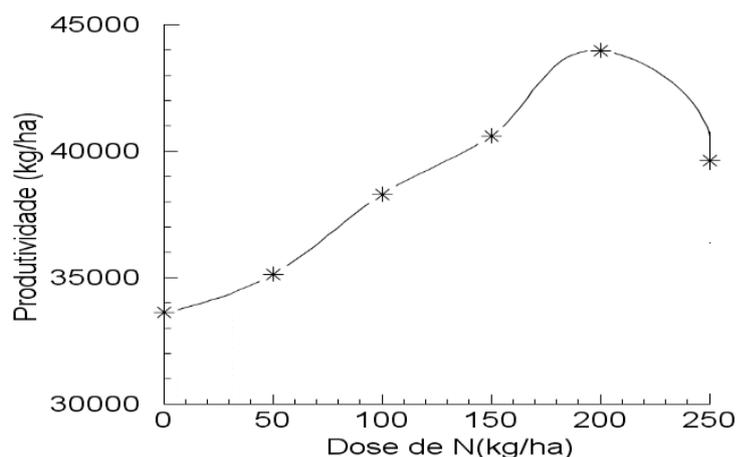


Figura 2. Produtividade de massa verde de sorgo em kg/ha<sup>-1</sup> em função de doses de nitrogênio em cobertura.

Em estudo de Gomes et al. (2006), os autores observaram que o maior teor de PB da planta de sorgo está na panícula, com valores de 9,72%; nas folhas, 6,31% e no colmo, 1,70%, sendo por este motivo, a relevância de se avaliar a relação folha + panícula sobre o colmo, sendo que quanto maior estiver esta relação, maior será o teor de PB do alimento.

Na relação folha + panícula em relação ao colmo, pode-se observar que a menor dose de N proporcionou uma menor proporção, resultando em uma menor participação de grãos e folhas na silagem, diminuindo sua qualidade; por sua vez, a dose de 200 kg de N proporcionou a maior relação, sendo que a silagem terá uma maior qualidade (Figura 3).

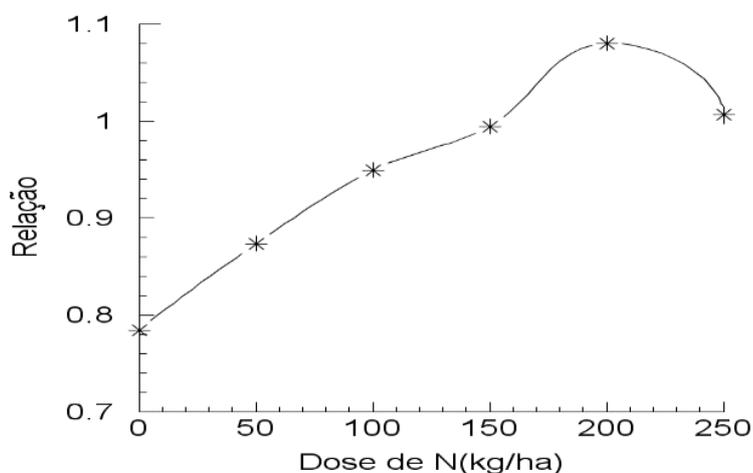


Figura 3. Relação peso folha + panícula com peso do colmo em diferentes doses de nitrogênio em cobertura.

As doses de 50, 100 e 150 kg de N produziram respectivamente, 35116,37 kg, 38271,25 kg e 40580,25 kg, sendo linearmente proporcionais as doses, entretanto na dose de 250 kg/ha<sup>-1</sup> ocorreu uma diminuição da produtividade em relação a dose de 200 kg/ha<sup>-1</sup>, ficando aquém inclusive da produtividade relativa a dose de 150kg/ha<sup>-1</sup>.

Quando há inoculação com a bactéria *Azospirillum*, o sistema planta-bactéria mostra-se mais eficiente na presença de pequenas doses de N mineral, o qual promove o fornecimento de fontes de carbono às bactérias através dos

exsudatos, o que contribui para a efetivação do processo de inoculação (QUADROS, 2009).

### Conclusão

O produto Geofix gramínea, não obteve resposta agrônômica significativa.

Dentre as doses estudadas, a de 200 kg/ha<sup>-1</sup> de nitrogênio em cobertura foi a que proporcionou a melhor produtividade, e a dose que resultou em uma menor produtividade foi a de 0 kg de N por hectare.

A maior dose de N estudada, 250 kg de N/ha<sup>-1</sup> apresentou efeito negativo às plantas de

sorgo, produzindo menos que as doses de 150 e 200 Kg/ha<sup>-1</sup> de N.

### Referências Bibliográficas

- BALIEIRO F. C.; FRANCO, A. A. Fixação biológica de nitrogênio: Alternativa aos fertilizantes nitrogenados. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G. (Ed.). Inter-relações fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas. Lavras: SBCS-UFLA, 1999. p. 577-596.
- BERGAMASCHI, C. Ocorrência de bactérias diazotróficas associadas em raízes e colmos de cultivares de sorgo. 88f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola). Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.
- CAMPOS, B. H. C.; THEISEN, S.; GNATTA, V. Avaliação do inoculante graminante na cultura de milho. *Ciência Rural*, v.30, p.713-715, 2000.
- CECATO, U.; SANTOS, G. T.; MARQUES, M. A.; GOMES, L. H.; DAMASCENO, J. C.; JOBIM, C. C.; RIBAS, N. P.; MIRA, R. T.; CANO, C. C. Avaliação da cultivares do gênero *Cynodon* com e sem adubação. *Acta Scientiarum*, Maringá, v.23, n.4, p.795-799, 2001.
- COELHO, A. M.; WAQUIL, J. M.; KARAN, D.; CASELA, C. R.; RIBAS, P. M. Seja o doutor do seu sorgo. Piracicaba: POTAFOS, 2002, 24p.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10 ed. Passo Fundo: SBCS-Núcleo Regional Sul, 2004. 224p.
- CRISPINO C. C. et al. Adubação nitrogenada na cultura da soja. *Comunicado Técnico*, n.45, 2001.
- EVANGELISTA. A. R.; LIMA. J. A. Utilização de silagem de girassol na alimentação animal. In: Simpósio Sobre Produção e Utilização de Forragens Conservadas, 2001, Maringá. Anais...Maringá, 2001.
- FERRARI J. R. E.; LAVEZZO, W. Qualidade da Silagem de Capim-Elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) Emurhecido ou Acrescido de Farelo de Mandioca. *Revista Brasileira Zootécnica*, v.5, p.1424-1431, 2001.
- FIORIN, J. E.; DE LIMA, L. O. DA C.; SIGNOR, L. R.; WYZYKOWSKI, T. Resposta do sorgo forrageiro à adubação nitrogenada e seu impacto na produtividade de leite. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 35, 2015, Natal. Anais... Natal, 2015.
- GOMES, S. O.; PITOMBEIRA, J. B.; NEIVA, J. N. M.; CÂNDIDO, M. J. D. Comportamento agrônomo e composição químico-bromatológico de cultivares de sorgo forrageiro no Estado do Ceará. *Revista Ciência Agrônômica*, v.37, p.221-227, 2006.
- MÜLLER, G. Complexo agroindustrial e modernização da agricultura. PMGV. Geografia. São Paulo: Hucitec/EDUSP, 1986. Disponível em: <<http://www.pmgv.rs.gov.br/geografia.html>>. Acesso em: 24 set. 2019.
- PMGV. Geografia. Disponível em: <<http://www.pmgv.rs.gov.br/geografia.html>>. Acesso em: 24 set. 2019.
- QUADROS, P. D. Inoculação de *Azospirillum* spp. em sementes de genótipos de milho cultivados no Rio Grande do Sul. 74f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.
- RESENDE, H. Cultura do milho e do sorgo para produção de silagem. Coronel Pacheco: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1991. 107p.
- ROCHA JÚNIOR, V. R.; GONÇALVES, L. C.; RODRIGUES, J. A. S.; BRITO, A. F.; RODRIGUEZ, N. M.; I. BORGES, I. Avaliação de sete genótipos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) para produção de silagem: I. características agrônômicas. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.52, p.506-511, 2000.
- SCIVITTARO, B. W.; SANTOS, G. G. dos; FARIAS, D. G. de; ANDRES, A.; CASTILHOS, R. M. V. Doses de nitrogênio e de atrazine em cultivo de sorgo em terras baixas. *Revista Brasileira Agrociência*, v.11, n.3, p.315-321, 2005.
- SIMILI, F. F.; REIS, R. A.; FURLAN, B. N.; PAZ, C. C. P. de; LIMA, M. L. P.; BELLINGIERI, P. A. Respostas do híbrido de sorgo-sudão às adubações nitrogenada e potássica: características estruturais e produtivas. *Ciência e Agrotecnologia*, v.34, n.1, p.87-94, 2010.
- ZAGO, C. P. Cultura de sorgo para produção de silagem de alto valor nutritivo. In: Simpósio sobre Nutrição de Bovinos, 4, 1991, Piracicaba. Anais...Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1991. p.169-217.
- ZUBER, M. S. Relative efficiency of incomplete block designs using corn uniform trial data. *Journal of the American Society of Agronomy*, v.34, p.30-47, 1942.

## Capítulo 6

### **ASSOCIAÇÕES DE FUNGICIDAS PARA O MANEJO DE *Phakopsora pachyrhizi***

**Paloma Alves da Silva Sexto<sup>1</sup>**  
**Fernanda Gracieli Machado Brum<sup>2</sup>**  
**Maico André Battisti<sup>3</sup>**  
**Larissa Dal Gallo Maschio<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Eng. Agr. Dra. Prof. do Centro de Ensino Superior Riograndense – CESURG, Unidade Sarandi e da Faculdade Anhanguera de Passo Fundo, palomasexto17@gmail.com

<sup>2</sup>Quím. Ind. Me. Prof. do Centro de Ensino Superior Riograndense – CESURG, Unidade Sarandi e da Faculdade Anhanguera de Passo Fundo, fe896@hotmail.com

<sup>3</sup>Filósofo, Prof. do Curso Técnico em Agropecuária do Estado do Rio Grande do Sul, maicobattisti@gmail.com

<sup>4</sup> Eng. Agr. Faculdade IDEAU de Getúlio Vargas, larissad.m@hotmail.com

#### **Introdução**

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) tem seu centro de origem na China. Conforme dados da Embrapa (2003), representa o papel de principal oleaginosa produzida e consumida, a nível mundial. Tal fato se justifica pela importância do produto tanto para o consumo humano, como animal. Conforme Gehlen (2001), a soja é uma commodity agrícola de importância comercial extremamente relevante. É uma excelente fonte de proteína e óleo, podendo ser cultivada em quase todas as regiões do mundo, justificando investimentos em tecnologias que visem ao aumento da produção e a redução dos fatores adversos à cultura.

Em 2017, a agropecuária brasileira foi responsável por acumular uma taxa de 13% do Produto Interno Bruto (PIB) em relação ao mesmo período do ano anterior, sendo que, a soja contribuiu com 19,4% de participação, segundo os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018).

No Brasil, a cultura da soja é considerada um dos elementos mais fortes da economia, transcendendo ao meio rural. No entanto, existem alguns fatores que limitam a exploração máxima deste potencial de produtividade, sendo um deles a propagação de doenças causadas por fungos, bactérias, nematoides e vírus (SOARES, 2004). Dentre esses, encontra-se a ferrugem asiática da soja, uma doença causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*.

Esta doença quando diagnosticada na planta de soja, provoca desfolha precoce e quanto mais cedo isso ocorrer, menor será o tamanho dos grãos e, conseqüentemente, maior

a perda do rendimento e da qualidade (EMBRAPA, 2003). Em casos severos, quando a doença atinge a soja na fase de formação das vagens ou no início da granação, os danos podem acarretar perda de produtividade de até 70% (SINCLAIR & HARTMAN, 1999; YORINORI et al., 2005).

O controle da ferrugem da soja compreende diversas medidas conjuntas, onde o uso de fungicidas é o principal método de controle quando a doença já está instalada (SOARES et al., 2004). O uso de fungicidas de maior período residual e associações de fungicidas aliado a pulverização eficiente é imprescindível para que atinja o máximo de área foliar (YORINORI, 2007).

Diante disso, o objetivo da pesquisa é avaliar a eficiência de diferentes associações de fungicidas no controle químico de ferrugem asiática na soja.

#### **Material e Métodos**

A implantação do projeto foi realizada no município de Getúlio Vargas/RS, onde o solo é caracterizado como sendo Latossolo Vermelho distrófico (STRECK, 2008). O clima predominante da região é temperado úmido com verões quentes (Cfa), segundo a classificação de Köppen-Geiger (1936), com as coordenadas de latitude de 27° 41' 33" S, longitude 52° 13' 02" O com altitude média de 644 metros.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com 5 tratamentos e 3 repetições cada (Tabela 1). A área experimental foi subdividida em 20 parcelas de 5,4 x 6 m totalizando uma área útil de 648 m<sup>2</sup>.

Tabela 1. Ingrediente ativo (i.a.), gramas de ingrediente ativo e dose do produto comercial (p.c) por unidade de medida dos tratamentos realizados, safra 2018/19

Tratamentos	Ingrediente Ativo (i.a)	Doses	
		g.i.a. / L <sup>-1</sup> ou Kg <sup>-1</sup>	L <sup>-1</sup> ou Kg <sup>-1</sup> p.c/ha <sup>-1</sup>
T1	Sem aplicação	-	-
T2	Azoxistrobina + Benzovindiflupir associado ao clorotalonil <sup>1</sup>	300 + 150 + 750	0,20 + 0,15
T3	Picoxistrobina + Benzovindiflupir associado ao clorotalonil <sup>1</sup>	100 + 50 + 720	0,6 + 1,5
T4	Trifloxistrobina + Protioconazol associado ao Mancozebe <sup>2</sup>	150 + 175 + 750	0,4 + 1,5
T5	Picoxistrobina + Ciproconazole associado ao difenoconazol + ciproconazol <sup>1</sup>	200 + 80 + 250 + 150	0,3 + 0,25

Legenda: <sup>1</sup>Adicionado óleo mineral; <sup>2</sup>adicionado éster metílico de óleo de soja.

A semeadura foi realizada no mês de novembro com a cultivar 95Y95, tratada com 1 ml/kg<sup>-1</sup> de clorantranilprole, 1 ml/kg<sup>-1</sup> de metalaxil-M associado ao tiabendazol e fludioxonil, em área de sistema plantio direto, com rotação de cultura em sucessão da cultura do trigo, com profundidade de 4 cm, espaçamento entre linhas de 45 cm e população final de 210 mil plantas por hectares. A adubação utilizada foi de 300 kg/ha<sup>-1</sup> na formulação de 02-28-20 (N - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - K<sub>2</sub>O) e 100 kg/ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio (KCl) em cobertura, na formulação de 00-00-60.

As aplicações de defensivos foram realizadas com auxílio de um pulverizador costal motorizado, em condições ideais de umidade relativa, velocidade do vento e

temperatura, para que essas não interferissem no resultado da pesquisa.

As aplicações ocorreram nos estádios de desenvolvimento V4 (4 nós desenvolvidos), R1 (início do florescimento) e R4 (plena formação dos legumes) (FEHR & CAVINESS, 1977). Os demais tratos culturais com herbicidas e inseticidas foram realizados conforme a necessidade da cultura de forma igual para todos os tratamentos.

Após o término das aplicações fúngicas, foi avaliado a severidade de ferrugem nas parcelas através da escala diagramática de Godoy (Figura 1), 15 dias após a última aplicação, através da avaliação visual de doenças presente nas parcelas.

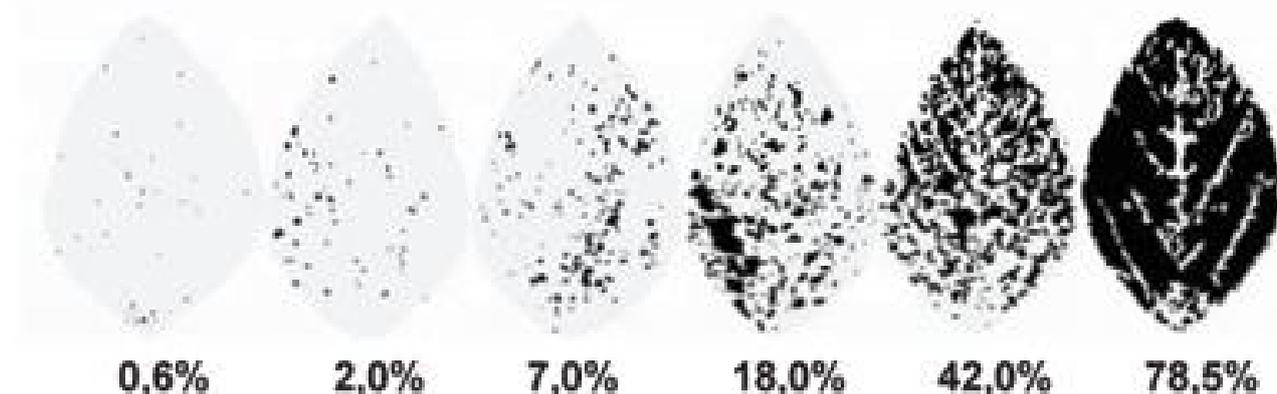


Figura 1. Escala diagramática de severidade da ferrugem asiática da soja através do percentual da área foliar com doença. Fonte: Godoy et al. (2006).

A colheita foi realizada com auxílio de uma trilhadeira, após as plantas atingirem a maturidade completa e umidade dos grãos próxima a 13%.

Para a avaliação do rendimento de grãos, foi contabilizado o número de grão por legume e número de legume por planta, além de

colher 10 m<sup>2</sup> por parcela para obtenção da massa de grãos e extrapolada para hectares. Para o peso de mil grãos (PMG) foi coletada e pesada uma amostra de 1.000 grãos.

Os dados obtidos no experimento foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Quando houve diferença significativa, as médias

foram comparadas com o teste de Tukey a nível de 5% de significância.

### Resultados e Discussão

Verifica-se que ocorre efeito significativo de controle da ferrugem asiática pelos tratamentos em relação à testemunha, sem aplicação de fungicida. Todos os tratamentos químicos apresentam severidade estatisticamente inferior a testemunha, em todos os terços da planta.

No terço inferior da planta (Tabela 2), todos os tratamentos de aplicação de fungicidas (T2, T3, T4 e T5) são estatisticamente iguais, diferindo apenas da testemunha (T1). No terço médio e superior (Tabela 2), o tratamento com picoxistrobina + ciproconazole associado ao difenoconazol + ciproconazol (T5) apresenta menor porcentagem de severidade dos demais tratamentos, proporcionando uma redução de 29,3 e 24,5% respectivamente, quando comparado a testemunha (T1), a qual apresenta o maior nível de severidade.

Tabela 2. Severidade de ferrugem asiática da soja nos diferentes terços da planta

Tratamentos	Severidade		
	Terço inferior (%)	Terço Médio (%)	Terço superior (%)
T1	55,75 a	35,42 a	28,42 a
T2	17,33 b	13,01 bc	5,08 bc
T3	22,1 b	17,38 b	9,63 b
T4	21,36 b	12,17 c	6,82 bc
T5	12,57 b	6,13 d	3,95 c
Coefficiente de variação (%)	18,85	10,55	16,63

\* Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem entre si, pelo teste de Teste de Tukey a nível de 5% de significância.

O tratamento T5 (Tabela 2), apresenta-se com maior eficiência em relação aos demais, devido a ação conjunta de três moléculas de IDM (inibidores da desmetilação - triazol) e uma molécula de IQe (inibidores da quinona externa ou inibidores do complexo III - estrobilurina) (REIS et al., 2010). A mistura de triazol com estrobilurina é mais efetivo no controle da ferrugem asiática que qualquer um deles isoladamente (GARCÉS, 2010). Desta forma, a baixa eficiência de controle dos ativos isolados reforça a orientação de que, misturas comerciais formadas por dois ou mais fungicidas com modo de ação distintos, têm sido recomendadas para todas as regiões do Brasil a partir da safra 2008/09, devido a melhor eficiência no controle da ferrugem asiática (GODOY et al., 2017).

A ocorrência do fungo *Phakopsora pachyrhizi* na fase vegetativa da soja, torna necessário a melhor distribuição do fungicida nas partes inferiores da planta, condicionando a aplicações de fungicidas durante as fases

vegetativa e reprodutiva (ALMEIDA et al., 2009b), otimizando o controle da doença e potencializando o rendimento dos grãos (ALMEIDA et al., 2009a).

Com relação ao número de grãos por legume (GFL) (Figura 2), todos os tratamentos apresentam quantidades semelhantes de legumes com 0, 1 e 2 grãos formados, porém a elevada severidade da ferrugem asiática sobre a testemunha (T1), que não recebeu aplicação, acarreta a redução significativa de legumes com 3 grãos formados, quando comparado aos demais tratamentos.

O fungo *Phakopsora pachyrhizi* possui alto potencial de dano à cultura. Uma das consequências é o rápido amarelecimento e queda das folhas que prejudica a plena formação dos grãos (SOARES et al., 2004). A ocorrência da doença ainda em fase reprodutiva inicial, contribui para a maior formação de legumes abortados ou com grãos chochos, refletindo diretamente na produtividade final dos grãos (RIBEIRO et al., 2016).

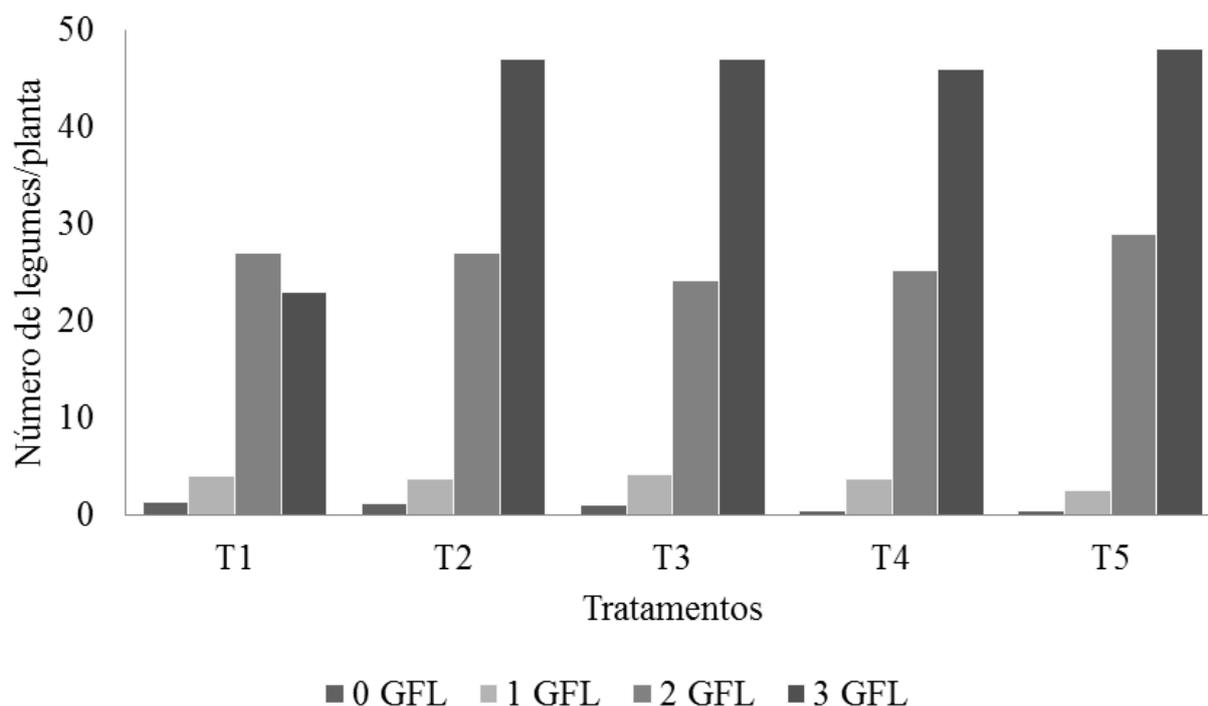


Figura 2. Número de legumes por planta com 0, 1, 2 e 3 grãos formados por legume (GFL).

O peso de mil grãos (PMG) (Tabela 3), mensurada após a colheita, apresenta diferença significativa entre os tratamentos. O maior incremento no PMG é observado no tratamento com picoxistrobina + ciproconazole associado ao difenoconazol + ciproconazol (T5) que

apresenta 18,45 g correspondendo a 14,52% de aumento em relação a testemunha T1. Este resultado está diretamente relacionado ao baixo índice de severidade proporcionado pela associação dos fungicidas.

Tabela 3. Peso de mil grãos (PMG) e produtividade de grãos de soja por hectare

Tratamentos	PMG (g)	Produtividade (sc ha <sup>-1</sup> )
T1	127,03 c	55,54 b
T2	142,44 ab	84,75 a
T3	139,63 b	83,03 a
T4	141,94 ab	82,73 a
T5	145,48 a	84,72 a
Coeficiente de variação (%)	0,96	9,19

\* Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem entre si, pelo teste de Teste de Tukey a nível de 5% de significância.

A ferrugem asiática é a importante causa de desfolha na cultura da soja, quanto maior a quantidade de ferrugem, maior o número de urédias por unidade de área, portanto, maior interferência no metabolismo da folha e maior a perda de água, com reflexo na durabilidade e enchimento dos grãos (GARCÉS, 2010). Desta forma, a ferrugem asiática promove uma redução na atividade fotossintética devido à destruição do tecido foliar, seguido de desfolha precoce da planta de soja, causando enchimento de grãos deficiente e reduzindo o peso de mil grãos (JULIATTI et al., 2004).

Estudos de Ribeiro et al. (2016), comprovaram um maior incremento no PMG, quando aplicado o tratamento com azoxistrobina + benzovindiflupir + multissítio, correspondendo ao tratamento T2 da presente pesquisa, que apresenta 22,3% de aumento em relação a testemunha que não recebeu aplicação.

Na produtividade de grãos por hectare (Tabela 3), observa-se diferença significativa em relação a testemunha (T1). Os tratamentos que receberam aplicação de fungicidas (T2, T3, T4 e T5) não diferem estatisticamente entre si e foram superiores a testemunha (T1), a qual

apresenta um decréscimo de produtividade de mais de 27 sc/ha<sup>-1</sup> correspondendo a 48,9% quando comparado aos demais tratamentos.

Estes resultados, estão relacionados a associações de fungicidas que possibilitam uma maior longevidade da folhagem, menores porcentagens de severidade, quando associado ao maior número e maior massa de grãos produzidos, elevando a produtividade consequentemente. Conforme Costamilan et al. (2002), um dos principais componentes de rendimento afetados pela ferrugem asiática é o tamanho do grão, influenciando diretamente na produtividade final.

A perda de área foliar causadas pelas doenças afeta a interceptação de luz, a capacidade fotossintética, o acúmulo de fotossintatos e o período do enchimento de grãos (BOARD et al., 1994). A ferrugem apresenta lesões e urédias nos dois lados da folha, reduzindo significativamente a habilidade de realizar a fotossíntese, produzindo assim grandes perdas do rendimento da cultura da soja (AGRIOS, 2005).

### Conclusão

Todas as associações de fungicidas avaliados tiveram influência positiva no controle da ferrugem asiática. Uma vez estabelecida a doença na planta, impactou diretamente na formação de legumes e grãos, bem como na produtividade final.

Mediante os resultados obtidos, torna-se de suma importância a realização de monitoramento e controle nos primeiros sintomas observados, através do uso de rotação de fungicidas, não apenas de contato, mas também a adoção de fungicidas multissítios ou protetores do fungo *Phakopsora pachyrhizi*.

### Referências Bibliográficas

AGRIOS, G. N. Plant Pathology. 5<sup>a</sup> ed. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2005. 952p.

ALMEIDA, R.; FORCELINI, C. A.; GARCEZ, F. Análise de distribuição dos componentes de rendimento na planta como critério para a época de aplicação de fungicidas em soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 2009, Rio de Janeiro. Tropical Plant Pathology (Impresso). Brasília: Sociedade Brasileira de Fitopatologia, 2009. v. 34. p. 79-79. 2009a.

ALMEIDA, R.; FORCELINI, C. A.; GARCEZ, F. Controle de doenças em soja através de aplicações antecipadas de fungicidas. In: Congresso Brasileiro De Fitopatologia, 2009.

Rio de Janeiro. Tropical Plant Pathology (Impresso). Brasília: Sociedade Brasileira de Fitopatologia, 2009. v. 34. p. 79-79. 2009b.

ALVES, S. A. M.; FURTADO, G. Q.; BERGAMIN FILHO, A. Influência das condições climáticas sobre a ferrugem da soja. In: ZAMBOLIM, L. (Org.). Ferrugem Asiática da soja. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora. 2006. p.37-59.

ANTUNIASSI, U. R.; CAMARGO, T. V.; BONELLI, A. P. O.; ROMAGNOLE, H. W. C. Avaliação da cobertura de folhas de soja em aplicações terrestres com diferentes tipos de pontas. In: Simpósio Internacional De Tecnologia De Aplicação De Agrotóxicos, 3, 2004, Botucatu. Anais... Botucatu: FEPAF, 2004. p.48-51.

BECK, L. F.; MILES, M. R.; STEILAGE, T. A.; HARTMANN, G. L. Libertação de urediniosporos e escape de campos de soja infectados com ferrugem. USDA-ARS, 2006. Disponível em: <<http://www.plantmanagementnetwork.org/infocenter/topic/soybeanrust/2006/posters/38.asp>>. Acesso em: 15 set 2018.

BOARD, J. E.; WIER, A. T.; BOETHEL, D. J. Soybean yield reductions caused by defoliation during mid to late seed filling. Agron, v.86, p.1074-1079, 1994.

BONDE, M. R.; NESTER, S. E.; AUSTIN, C. N.; STONEE, C. L.; FREDERICK, R. D.; HARTMAN, G. L.; MILHAS, M. R. Avaliação da virulência de isolados de *Phakopsora pachyrhizi* e *P. meibomiae*. Plant Disease, v.90, n.6, p.708-716, 2006.

BROMFIELD, K. R. Soybean rust. Monograph. The American Phytopathological Society, n.11, 65 p. 1984.

CALDWELL, P.; LAING, M. Soybean rust - A disease on the move. Southern African Society for Plant Pathology Monthly Feature. 2002. Disponível em: <<http://saspp.org/content/view/20/11/>>.

Acesso em: 16 mar 2018.

CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM. Ocorrência de ferrugem safra 2017/2018. Disponível em: <<http://www.consorcioantiferrugem.net/#/main>>. Acesso em: 14 mar 2018.

COSTAMILAN, L. M.; BERTAGNOLLI, P. F.; YORINORI, J. T. Avaliação de danos em soja causados por ferrugem asiática. In.: Reunião De Pesquisa De Soja Da Região Sul, 30, 2002, Cruz Alta. Anais... Cruz Alta: FUNDACEP, 2002. 99p.

D'AGOSTO, M. G. Modo de ação dos fungicidas microbiológicos. Piracicaba, 2016. 10p.

DORRANCE, A. E.; DRAPER, M. A.; HERSHMAN, D. E. (eds). Using foliar fungicides to manage soybean rust. 2008. Disponível em:

- <<http://ssnavi.public.iastate.edu/importance%20of%20risk%20assessment.pdf>>. Acesso em: 14 mar 2018.
- DUFRESNE, L.; BEAN, G. Effect of temperature and light intensity on telia development by Puerto Rico and Taiwan isolates of *Phakopsora pachyrhizi*, the soybean rust fungus. *Plant Disease*, v.71, p.629-31,1987.
- EMBRAPA. Sistemas de produção 14 - Tecnologias de produção de soja - região Central do Brasil 2011. Londrina: 2010. 255p.
- EMBRAPA. Tecnologias de Produção de Soja - Região Central do Brasil 2004. Londrina/PR, 2003. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes//publicacao/451526/tecnologias-de-roducao-de-soja---regiao-central-do-brasil-2004>>. Acesso em: 17 mar 2018.
- FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIR, N. Ecofisiologia da soja. Londrina/PR, 2007. Disponível em: <<https://bioinfo.cnpso.embrapa.br/seca/documentos/circtec48.pdf>>. Acesso em: 11 mar. 2018.
- FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. Stages of soybean development. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11p.
- FRAC. Comitê de Ação à Resistência de Fungicidas. Modo de Ação de Fungicidas. 2018. Disponível em: <<http://www.frac-br.org/modo-de-acao>>. Acesso em: 19 mar. 2018.
- FRAC. Comitê de Ação à Resistência de Fungicidas. Recommendations for Fungicide Mixtures Designed to Delay Resistance. 2010. Disponível em: <<http://www.frac.info/docs/default-source/publications/frac-recommendations-for-fungicide-mixtures/frac-recommendations-for-fungicide-mixtures---january-2010.pdf?sfvrsn=4>>. Acesso em: 10 abr. 2018.
- FRAC. Comitê de Ação à Resistência de Fungicidas. SDHI Working Group. Informação sobre carboxamidas em ferrugem da soja. FRAC, 2017. 3p. (Informativo, 01/2017). Disponível em: <[http://docs.wixstatic.com/ugd/85b1d3\\_060a6876562140b693f03708057a\\_cff2.pdf](http://docs.wixstatic.com/ugd/85b1d3_060a6876562140b693f03708057a_cff2.pdf)>. Acesso em: 9 mar. 2018.
- GARCÉS, F. R. Efeito de programas de aplicação de fungicidas no progresso da ferrugem, no seu controle e na área foliar da soja. 100f. Trabalho de conclusão de curso (Mestrado em Agronomia/Fitopatologia). Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo, 2010.
- GARCIA, A. Fungicidas I: Utilização no controle químico de doenças e sua ação contra os fitopatógenos. Porto Velho, 1999. 32p.
- GEHLEN, I. Pesquisa, tecnologia e competitividade na agropecuária brasileira. *Sociologias*, v.3, n.6, p.70-93, 2001.
- GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; ROESE, A. D.; FORCELINI, C. A.; PIMENTA, C. B.; JACCOUD FILHO, D. S.; BORGES, E. P.; SIQUERI, F. V.; JULIATTI, F. C.; FEKSA, H. R.; GRIGOLLI, J. F. J.; NUNES JUNIOR, J.; CARNEIRO, L. C.; DA SILVA, L. H. C. P.; SATO, L. N.; CANTERI, M. G.; MADALOSSO, M.; ITO, M. F.; MARTINS, M. C.; BALARDIN, R. S.; FURLAN, S. H.; MONTECELLI, T. D. N.; CARLIN, V. J.; BARROS, V. L. N. P. de; VENANCIO, W. S. Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2012/13: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. Circular Técnica n. 99. Embrapa Soja. Londrina. 2013. 8p.
- GODOY, C. V.; KOGA, L. J.; CANTERI, M. G. Escala diagramática para avaliação da severidade da ferrugem da soja. *Fitopatologia Brasileira*, v.31, n.1, p.63-68, 2006.
- GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; LOPES, I. de O. N.; FORCELINI, C. A.; PIMENTA, C. B.; JACCOUD FILHO, D. S.; MOREIRA, E. N.; BORGES, E. P.; JUNIOR, E. R. de A.; SIQUERI, F. V.; JULIATTI, F. C.; FAVERO, F.; FEKSA, H. R.; JÚNIOR, I. P. A.; GRIGOLLI, J. F. J.; NUNES JUNIOR, J.; BELUFI, L. M. de R. Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2016/17: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. Circular Técnica, n. 129. Embrapa Soja. Londrina. 12 p, 2017.
- GOULART, A. C. P.; FURLAN, S. H.; FUJINO, M. T. Controle integrado da ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) com o fungicida fluquinconazole aplicado nas sementes em associação com outros fungicidas pulverizados na parte aérea da cultura. *Summa Phytopathologica*, v.37, n.2, p.113-118, 2011.
- HARTMAN, G. L.; SINCLAIR, J. B.; RUPE, J. C. Compendium of soybean diseases. 4 ed. APS Press: Minnesota, 1999.
- HENNING, A. A.; ALMEIDA, A. M. R.; GODOY, C. V.; SEIXAS, C. D. S.; YORINORI, J. T.; COSTAMILAN, L. M.; FERREIRA, L. P.; MEYER, M. C.; SOARES, R. M.; DIAS, W. P. Manual de identificação de doenças de soja. 5 ed. Documentos 256. Embrapa Soja. Londrina, 2014, 77p.
- IBGE. Contas Nacionais Trimestrais - 4º Trimestre de 2017. 2018. Disponível em:

<<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2013-agencia-de-noticias/releases/20166-pib-avanca-1-0-em-2017-e-fecha-ano-em-r-6-6-trilhoes.html>>.

Acesso em: 11/03/2018.

JULIATTI, F. C.; POLIZEL, A. D.; Manejo integrado de doenças na cultura da soja. 1ª ed. Uberlândia: EDUFU, 2004. 327p.

KLOSOWSKI, A. C.; MIO, L. L. M. de; MIESSNER, S.; RODRIGUES, R.; STAMMLER, G. Detection of the F129L mutation in the cytochrome b gene in *Phakopsora pachyrhizi*. *Pest Management Science*, v.72, p.1211-1215, 2015.

KOCH, E.; EBRAHIN-NESBAT, F.; HOPPE, H. H. Light and electron microscopic studies on the development of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi* Syd.) in susceptible soybean leaves. *Journal of Phytopathology*, v.106, p.302-320, 1983.

KOCH, E. F.; HOPPE, H. H. Development of infection structures by the direct penetration soybean rust fungus (*Phakopsora pachyrhizi* Syd) on artificial membranes. *Journal of Phytopathology*, v.122, p.232-44, 1988.

KÖPPEN-GEIGER. Classificação climática de Köppen-Geiger. Alemanha: 1936. Disponível em:

<[https://portais.ufg.br/up/68/o/Classificacao\\_o\\_Clim\\_tica\\_Koppen.pdf](https://portais.ufg.br/up/68/o/Classificacao_Climatica_Koppen.pdf)>. Acesso em: 01 de março de 2018.

LEMES, E.; GAVASSONI, W. L. Ferrugem Asiática da soja. In: LEMES, E.; CASTRO, L.; ASSIS, R. Doenças da soja – Melhoramento genético e técnicas de manejo. Campinas: Editora Millennium, v.1, p.35-51, 2015.

MAPA. Agronegócio Brasileiro: Uma oportunidade de investimentos. Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso em: 11 mar 2018.

MAUDE, R. B. Seedborne disease and their control. Principles and practice. CAB International: Oxon, 1996.

MELCHING, J. S.; DOWLER, W. M.; KOOGLE, D. L.; ROYER M. H. Effect of duration, frequency, and temperature of leaf wetness period on soybean rust. *Plant Disease*, v.73, p.117-122, 1989.

MILES, M. R.; BONDE, M. R.; NESTER, S. E.; BERNER, D. K.; FREDERICK, R. D.; HARTMAN, G. L. Characterizing resistance to *Phakopsora pachyrhizi* in soybean. *Plant Disease*, v.95, p.577-581, 2011.

REIS, E. M.; BRESOLIN, A. C. R.; CARMONA, M. Doenças da soja I: Ferrugem asiática. Passo Fundo: Editora Universitária, 2006, 48p.

REIS, E. M.; REIS, A. C. Mancozebe. Passo Fundo: Berthier, 2015, 80p.

REIS, E. M.; REIS, A. C.; CARMONA, M. A. Classificação dos fungicidas – uma nova abordagem. In: REIS, E. M.; REIS, A. C.; FORCELINI, C. A. Manual de fungicidas - Guia para controle químico de doenças de plantas. 6ª ed. Passo Fundo. p.58-75, 2010.

RIBEIRO, F. de C.; ERASMO, E. A. L.; MORAES, E. B. de; CERQUEIRA, F. B.; MATOS, E. P. de; SOUSA, F. de. Fungicidas aplicados na cultura da soja visando o controle da ferrugem asiática no estado do Tocantins. *Revista Cultivando o Saber*, v.9, n.2, p.198-209, 2016.

SCHMITZ, H. K.; MEDEIROS, A. C.; CRAIG, I. R.; STAMMLER, G. Sensitivity of *Phakopsora pachyrhizi* towards quinone-oxidase-inhibitors and demethylation-inhibitors, and corresponding resistance mechanisms. *Pest Management Science*, v.7, p.378-388, 2014.

SHARMA, N. D.; MEHTA, S. K. Soybean rust in Madhya Pradesh. *Acta Botanica Indica*, v.24, p.115-116, 1996.

SILVA, A. J. da; CANTERI, M. G.; GASTALDI, L. F.; BALAN, M. G.; BRUSTOLIN, C. Haste verde e retenção foliar relacionadas a aplicação de fungicidas para controle da ferrugem da soja. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 27, 2005, Cornélio Procópio. Anais... Cornélio Procópio, 2005. p.173-174.

SINCLAIR, J. B.; HARTMAN, G. L. Soybean rust. In: HARTMAN, G. L.; SINCLAIR, J. B.; RUPE, J. C. Compendium of soybean diseases. 4ª ed. São Paulo: APS Press, p.25-26, 1999.

SLAMINKO, T. L.; MILES, M. R.; FREDERICK, R. D.; BONDE, M. R.; HARTMAN, G. L. New legume hosts of *Phakopsora pachyrhizi* based on greenhouse evaluation. *Plant Disease*, v.92, n.5, p.767-771, 2008.

SOARES, R. M.; RUBIN, S. A. L.; WIELEWICKI, A. P.; OZELAME, J. G. Fungicidas no controle da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) e produtividade da soja. *Ciência Rural*, v.34, n.4, p.1245-1247, 2004.

STRECK, E. V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. Solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: EMATER/RS; UFRGS, 2008. 126p.

VÉLEZ-CLIMENT, M. C.; DUFAULT, N. The adhesion and rainfall washoff of urediniospores on soybean leaves. In: National Soybean Rust Symposium, 2007, Louisville. Anais... Louisville, 2007.

VENANCIO, W. S.; ZAGONEL, J.; FURTADO, E. L.; SOUZA, N. L. Novos fungicidas. I - produtos naturais e derivados sintéticos: estrobilurinas e fenilpirroles. Revisão Anual de Patologia de Plantas, v.7, p.103-155, 1999.

VENANCIO, W. S.; RODRIGUES, M. A. T.; BEGLIOMINI, E.; SOUZA, N. L. de. Efeitos fisiológicos de fungicidas sobre plantas. 1. Efeitos fisiológicos do fungicida pyraclostrobin. Revisão Anual de Patologia de Plantas, v.12. p.317-341, 2004.

XAVIER, S. A.; CANTERI, M. G.; BARROS, D. C. M.; GODOY, C. V. Sensitivity of *Corynespora cassicola* from soybean to carbendazim and

prothioconazole. Tropical Plant Pathology, v.38, p.431-435, 2013.

YORINORI, J. T.; PAIVA, W. M.; FREDERICK, R. D.; COSTAMILAN, L. M.; BERTAGNOLLI, P. F.; HARTMAN, G. L.; GODOY, C. V.; NUNES JUNIOR, J. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay. Plant Disease, v.89, p.675-677, 2005.

YORINORI, J. T. Soja: ferrugem asiática avança e exige cuidados mais intensos. São Paulo, n.1, p.3-6, 2007.

ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R. do; CHAVES, G. M. Controle químico de doenças de plantas. Brasília: ABEAS, 1995, 307p.

*Capítulo 7*

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE SCHEELITA EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO EM PAVIMENTO INTERTRAVADO**

**Wily Santos Machado<sup>1</sup>**  
**Jonatas Kennedy Silva de Medeiros<sup>2</sup>**  
**Anderson Gomes Nascimento<sup>3</sup>**  
**Cibelle Dias de Carvalho Dantas Maia<sup>4</sup>**  
**Larissa Santana Batista<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Eng. Civil, UFCG, Pombal-PB, wily santos1997.ws@gmail.com

<sup>2</sup>Eng. Civil, UFCG, Pombal-PB, jonataskennedy@hotmail.com

<sup>3</sup>Graduando em Eng. Civil UFCG, Campina Grande-PB, Anderson.gn.99@gmail.com

<sup>4</sup>Msc. Profa. Titular, UFCG, Pombal-PB, maia.cibelle@gmail.com

<sup>5</sup>Msc. Profa. Titular, UFCG, Pombal-PB, larisantanabatista@gmail.com

**Introdução**

As reservas minerais brasileiras são bem diversificadas e destinadas aos mais variados grupos de produção. A scheelita é um mineral reconhecido por sua elevada densidade relativa e sua forma cristalina, pertence à classe dos Tungstatos, é especificamente um cálcio com composição:  $CaWO_4$  (DANA, 1974). Segundo Almeida et al. (2016), os principais depósitos de scheelita do Brasil encontram-se localizados nos estados do Rio Grande do Norte e na Paraíba, sendo conhecidas cerca de 700 localidades distribuídas numa área de aproximadamente 20.000 km<sup>2</sup>, constituindo a Província Scheelitífera do Seridó. De acordo com Gerab (2014), estima-se que, apenas 0,8% de todo o material extraído do beneficiamento da scheelita é constituído pelo minério almejado, e 99,2% retorna ao meio ambiente como resíduo.

Apesar de sua grande importância econômica e social, a atividade mineradora tem uma alta capacidade de geração de impacto ambiental, intrinsecamente associada à grande quantidade de resíduos gerados, principalmente provenientes da própria extração e beneficiamento. De acordo com Leite et al. (2018), alguns danos causados pela atividade mineradora que podem ser citados são a retirada da vegetação, compactação do solo, modificação da paisagem pela escavação e detonação, ruídos e vibrações, poluição atmosférica, deposição de resíduos a céu aberto e risco a saúde dos trabalhadores.

É imprescindível que se haja uma gestão adequada desses resíduos, que os destinem para setores onde possam ser utilizados e reaproveitados, como forma alternativa de diminuir os efeitos por eles provocados. Esse direcionamento para uma cadeia produtiva

mostra-se como alternativa pertinente no cenário socioeconômico, e a construção civil se apresenta como uma área que permite a incorporação dos mesmos, visando reduzir a exploração de matéria-prima e a deposição inadequada desses resíduos no meio ambiente ou o seu acúmulo em depósitos (ANDRADE et al., 2019).

Tem-se, em contrapartida, o alto consumo de materiais convencionais na construção civil, e redução da quantidade disponível e, conseqüente, aumento do custo desses materiais, de forma a tornar necessária a busca de novas alternativas, como a utilização de materiais não convencionais. Para isso, diversos tipos de resíduos e materiais alternativos são estudados como substitutos de agregados (PETRY et al., 2017).

Paralelo a isso, tem-se o pavimento intertravado, constituído de peças maciças de concreto utilizadas no intertravamento que permitem pavimentar uma superfície, pois possuem a capacidade de resistir aos movimentos de deslocamento individual, seja ele vertical, horizontal, de rotação ou de giração em relação às suas peças vizinhas (ALMEIDA, 2016).

Os blocos de concreto para pavimento intertravado foram introduzidos no Brasil na década de 70, em função do simples processo construtivo, apresenta facilidade de instalação e manutenção, sem a necessidade de mão de obra especializada e, possui um custo inferior quando comparado a pavimentos rígidos e flexíveis convencionais. Embora apresentem satisfatório desempenho mecânico com aptidão suficiente para suportar solicitações do tráfego de veículos pesados, a maior demanda deste tipo de pavimento é para aplicação em áreas de

trânsito de pedestres e, ainda, para tráfego de veículos leves (FERNANDES, 2016).

Além de dispor de uma grande variedade de formas, modelos e cores, os pavers absorvem menos calor e viabilizam um maior conforto térmico, por apresentarem uma coloração mais clara. Saliente-se ainda que possuem um diferencial quanto a sua manutenção, uma vez que pode ser retirado e colocado sem perda da peça, bem como alta produtividade e reduzida utilização de mão de obra especializada (ABCP, 2010)

Diante disso, esse trabalho tem como finalidade avaliar a utilização do resíduo de scheelita como substituição parcial do agregado miúdo no concreto em pavimento intertravado, visando uma melhor destinação desse resíduo, de forma a se reduzir os danos causados por seu acúmulo e desenvolver um material alternativo para a pavimentação.

### Material e Métodos

Para realização do estudo foram utilizados os seguintes materiais: cimento Portland CP V – ARI, areia média, pó de pedra, resíduo do beneficiamento da scheelita e brita 0.

Inicialmente efetuou-se a coleta e preparação das amostras, sendo o resíduo de scheelita coletado na Mina Brejuí localizada na cidade de Currais Novos/RN e os demais materiais adquiridos em pontos comerciais na cidade de Campina Grande/PB. Posteriormente executou-se os ensaios de caracterização física dos materiais utilizados, conforme

especificações das normas apresentadas na Tabela 1. Realizou-se os ensaios de granulometria, massa específica, massa unitária e absorção para os agregados. O aglomerante, por sua vez, foi caracterizado pela massa específica e índice de finura. Todos os ensaios seguiram as metodologias apresentadas nas normas vigentes.

O traço do concreto foi definido depois da caracterização física desses materiais, através do método da Associação Brasileira do Concreto Portland (ABCP), visando obter um concreto com resistência mecânica de compressão de 35 MPa, sendo a relação a/c de 0,60.

Após a obtenção do traço, foram calculadas as composições com substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de scheelita nas proporções de 25 e 50%. Em seguida, moldou-se os corpos de prova em formas prismáticas de PVC com dimensões de 20x10x6 cm, confeccionando os pavers a serem ensaiados. Os corpos de prova foram colocados em cura saturada, sendo submetidos aos períodos de 7, 14 e 28 dias. Posteriormente, executou-se o ensaio de absorção ao completar 28 dias de cura, como também os ensaios mecânicos de resistência à compressão simples, conforme a ABNT NBR 9781/2013, e de resistência a tração na flexão, de acordo com a ABNT NBR 12142/2010, para as 3 idades de cura.

Todos os ensaios descritos seguiram as normas apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Ensaio realizados e normas técnicas utilizadas

Ensaio	Normas utilizadas
Granulometria	NBR NM 248/2003
Massa específica e absorção do agregado miúdo	NBR NM 52/2009
Absorção e densidade de agregado graúdo	DNER – ME 081/98
Massa unitária	NBR NM 45/2006
Finura	NBR 11579/2013
Massa específica do cimento	NBR 16605/2017
Moldagem e cura de corpos-de-prova	NBR 5738/2016
Resistência à compressão	NBR 9781/2013
Resistência à tração na flexão	NBR 12142/2010
Absorção de água dos pavers	NBR 9781/2013

### Resultados e Discussão

#### Caracterização física dos agregados

##### Granulometria

A partir do ensaio de granulometria, obteve-se as curvas granulométricas da areia,

do pó de pedra e do resíduo de scheelita. A Figura 1 ilustra as curvas com os limites inferiores e superiores da zona utilizável ótima propostos pela ABNT NBR 7211/2009.

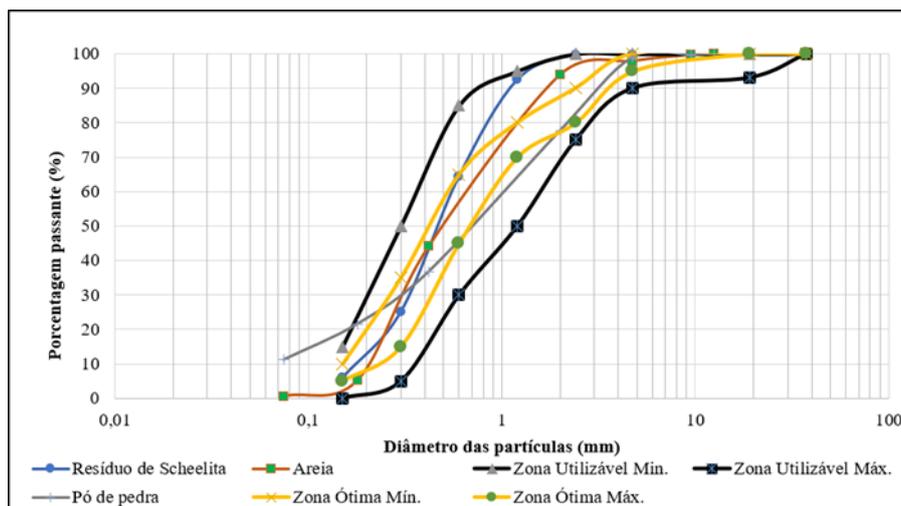


Figura 1. Curvas granulométricas dos agregados miúdos e limites da zona utilizável e ótima.

Verifica-se que os agregados miúdos apresentam granulometria que se enquadram nos limites da zona utilizável, contudo, há uma aproximação das curvas granulométricas na zona ótima, sendo necessária uma correção granulométrica na areia, entre as peneiras com abertura de 1,18 e 4,75mm, no pó de pedra, entre as peneiras de malha de 0,6 e 2,4mm,

enquanto o resíduo de scheelita necessita um ajuste nos grãos que compreendem o tamanho das peneiras com abertura entre 0,6 e 4,75mm.

A Figura 2 ilustra a curva granulométrica do agregado graúdo, sendo possível verificar que, o mesmo está dentro dos limites propostos pela ABNT NBR 7211/2009, classificando-se como brita 4,75/12,5.

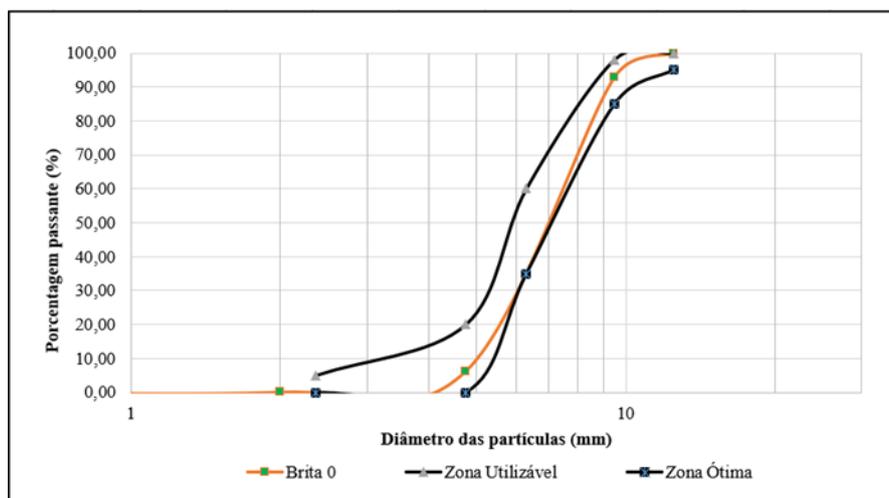


Figura 2. Curva granulométrica do agregado graúdo e limites da zona utilizável e ótima.

Essas composições granulométricas influenciam na determinação dos valores da dimensão máxima característica (DMC) e

módulo de finura (MF) dos agregados, que estão expressos na Tabela 2.

Tabela 2. Análise granulométrica dos agregados miúdos

Amostra	Dimensão Máxima (mm)	Módulo de finura
Areia	4,75	2,59
Pó de pedra	4,75	2,54
Resíduo de scheelita	2,36	2,26
Brita 0	9,5	5,00

Observa-se que, apesar de a areia, o pó de pedra e o resíduo de scheelita, se enquadrarem de forma completa nos limites da

zona utilizável, seus valores de módulo de finura estão dentro da faixa da zona ótima, que varia de 2,20 a 2,90, segundo a ABNT NBR

7211/2009, possibilitando utilizá-los como agregados miúdos na composição do concreto.

Observa-se através da Tabela 2 que, os valores de MF da areia e do pó de pedra são bem próximos, com diferença de 1,97%. Por outro lado, o resíduo de scheelita apresenta o menor módulo de finura entre os agregados miúdos, sendo a diferença igual a 14,6 e 12,38% em relação a areia e pó de pedra, respectivamente.

Esses valores de MF estão coerentes com a DMC dos materiais, visto que, tanto a areia quanto o pó de pedra, demonstram dimensão máxima característica de 4,75mm, enquanto o resíduo de scheelita, apresenta um valor inferior ao desses agregados, sendo equivalente a 2,36mm.

Assim, o fato de o resíduo de scheelita ser mais fino que os demais materiais, implica em mais grãos por unidade de volume, necessitando de uma maior quantidade de pasta de cimento para cobrir sua área superficial, conseqüentemente, necessita aumentar o volume de água para lubrificar todos os grãos e assegurar a trabalhabilidade, podendo-se provocar uma redução na resistência do concreto.

Além disso, pode-se observar ainda na

Tabela 2 nos valores da DMC e MF do agregado graúdo, reforçando a sua classificação como brita 0, visto que, esse material apresenta dimensão máxima de 9,5mm e módulo de finura igual a 5.

Portanto, o agregado graúdo pode ser empregado na fabricação do concreto, tendo em vista que, atende aos limites exigidos pela norma vigente, e possui as características próprias conhecidas desse material, gerando melhoria na trabalhabilidade e compacidade do concreto, diminuindo o índice de vazios e contribuindo para uma maior resistência dos blocos intertravados. Esses resultados estão coerentes com os apresentados por Medeiros et al. (2018) e Souza et al. (2019) que analisaram a incorporação de resíduos de pó de quartzo e caulim como substituição do agregado miúdo em concreto.

#### *Massa unitária e massa específica*

Na Tabela 3 observa-se os valores da massa unitária e específica dos agregados, onde pode-se verificar que, o pó de pedra apresenta o maior valor de massa unitária e a Brita 0 demonstra possuir maior massa específica.

Tabela 3. Valores da massa unitária e específica dos agregados miúdos

<b>Amostra</b>	<b>Massa Unitária (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Massa Específica (g/cm<sup>3</sup>)</b>
Areia	1,43	2,40
Pó de pedra	1,72	2,56
Resíduo de scheelita	1,59	2,61
Brita 0	1,61	2,67

Nota-se, a partir da Tabela 3, que a areia apresenta menor massa unitária e massa específica quando comparada aos demais agregados miúdos, mostrando que, esse material é mais leve que os demais. Por outro lado, o pó de pedra apresenta uma massa unitária superior a areia e ao resíduo de scheelita, na proporção de 20,28 e 8,18%, respectivamente. Logo, esse material pode contribuir para a diminuição dos vazios existentes na relação agregado/aglomerante, favorecendo o aumento da resistência do concreto.

Quanto à massa específica, verifica-se que, o resíduo de scheelita possui valor superior a areia, equivalente a 6,67%, e maior que o pó de pedra em menor proporção, correspondendo a 1,92%. Esse valor pode ser justificado pelo fato de o resíduo possuir, mesmo que em pequenas porções, quantidades do mineral

tungstênio que tem densidade elevada. Além disso, esse resultado revela que, o resíduo da mineração estudado possui maior teor de finos, visto que, segundo Medeiros (2016), a massa específica do agregado é diretamente proporcional à fração de finos.

Por outro lado, em relação ao agregado graúdo, vê-se que esses resultados estão coerentes com os apresentados por Lopes e Bacarji (2014) para a brita 0 utilizada no estudo de pisos intertravados com a incorporação de resíduos minerais. Além disso, os valores da massa específica e massa unitária estão dentro da faixa de valores apresentados por Paiva (2013) que variam de 2,60 a 2,70 g/cm<sup>3</sup> e 1,30 a 1,35 g/cm<sup>3</sup>, sequencialmente.

#### *Absorção de água*

Os resultados do ensaio de absorção dos agregados estão expressos na Tabela 4.

Tabela 4. Absorção dos agregados miúdos

<b>Amostra</b>	<b>Absorção (%)</b>
Areia	0,60
Pó de pedra	0,80
Resíduo de scheelita	1,07
Brita 0	0,51

Verifica-se que, o resíduo de scheelita apresenta o maior valor de absorção, sendo 78,33 e 33,75% maior que a absorção da areia e do pó de pedra, respectivamente. Esse valor superior é justificado, conforme Nascimento (2018) pela maior quantidade de finos existentes no resíduo de mineração, que acarreta também em partículas com superfícies específicas maiores, quando comparado ao demais agregados miúdos, necessitando assim, de maiores teores de água.

Quanto ao agregado graúdo, tem-se que sua porcentagem de umidade no estado saturado com superfície seca é baixa, equivalente a 0,51%, implicando em menor quantidade de água para produção do concreto. Esse resultado pode ser justificado pelo valor do módulo de finura, visto que os grãos maiores

necessitam de teores de água menores para lubrificar e unir as partículas.

Dessa forma, segundo Souza (2019), a absorção de água dos agregados é relevante para a análise da sua influência no volume de água que hidrata o cimento, de tal maneira que, o maior valor de absorção do resíduo de scheelita, pode influenciar na consistência e trabalhabilidade do concreto.

#### *Aglomerante*

##### *Massa específica e índice de finura*

Os valores da massa específica e índice de finura do cimento Portland empregado na composição do concreto para produção dos blocos intertravados estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Valores da massa específica e índice de finura do aglomerante

<b>Amostra</b>	<b>Massa específica (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Índice de finura (%)</b>
Cimento CP V - ARI	3,05	0,22

A massa específica do cimento é importante para a efetuação dos cálculos do traço de concreto, sendo seu valor igual a 3,05 g/cm<sup>3</sup>. Em relação ao valor de índice de finura do aglomerante, nota-se um valor de 0,22% que está conforme as especificações da ABNT NBR 11579/2013 que estabelece um valor limite de 6%.

De acordo com Souza (2019), o valor mais baixo do índice de finura desse cimento está ligado ao seu processamento, visto que há uma moagem mais fina, de tal forma que, ao ocorrer a reação com a água, há um alcance de maiores resistências, com velocidade elevada.

Assim, o acréscimo da finura reduz a exsudação, favorece o aumento da impermeabilidade, da resistência, principalmente a da primeira idade, além de contribuir para melhor trabalhabilidade e coesão dos concretos.

#### *Caracterização dos pavers*

##### *Ensaio de absorção de água*

Na Figura 3 observa-se os resultados obtidos para o ensaio de absorção de água nos pavers para o traço convencional e substituição de 25 e 50% de resíduo de scheelita aos 28 dias de cura.

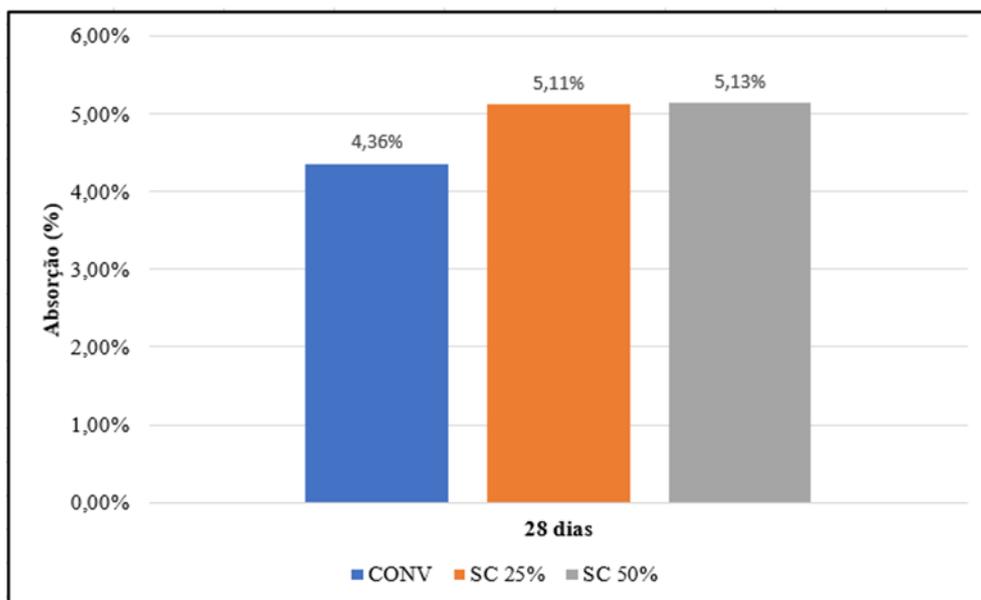


Figura 3. Valores de absorção dos pavers.

De acordo com a Figura 3, percebe-se que, a medida que substituiu a areia e pó de pedra pelo resíduo da scheelita, a absorção do bloco intertravado aumenta, este comportamento possivelmente ocorre devido a absorção do próprio grão do resíduo de scheelita ser maior do que a absorção dos agregados naturais, sendo a substituição de 50% a que apresenta o maior resultado de absorção, que é de 5,13%. Batista et al. (2018) confirmam esse comportamento, ao revelar em seu estudo que com a adição do resíduo da scheelita foi absorvido mais água durante a mistura do concreto.

No entanto, todos os resultados

encontrados para o ensaio de absorção de água foram inferiores ao máximo exigido pela ABNT NBR 9781/2013, que é de 6% para valores médios de absorção. Logo, por meio deste ensaio, a utilização do resíduo da scheelita em blocos intertravado de concreto é bastante viável.

#### Ensaio de resistência à compressão simples

Na Tabela 6 observa-se os resultados do ensaio de resistência à compressão simples aos 7, 14 e 28 dias de cura do traço convencional e com substituições de 25 e 50% do agregado miúdo pelo resíduo de scheelita.

Tabela 6. Resistência característica à compressão dos pavers

Traço	Resistência Média (MPa)	s	Resistência Característica à Compressão (MPa)
CONV	7 Dias	1,84	34,40
	14 Dias	0,87	34,62
	28 Dias	0,22	43,43
SC 25%	7 Dias	1,65	28,46
	14 Dias	0,14	34,22
	28 Dias	0,30	39,10
SC 50%	7 Dias	2,23	28,90
	14 Dias	2,15	33,48
	28 Dias	0,34	39,58

Conforme a Tabela 6, percebe-se que, a utilização do resíduo da scheelita no traço convencional provoca uma redução em sua resistência média à compressão simples (RCSm) em todas as idades de cura. Esta redução pode ser justificada pela diferença do comportamento do resíduo em relação aos

agregados naturais (areia e pó de pedra), visto que, o mesmo possui uma granulometria mais uniforme, provocando assim uma maior quantidade de vazios na mistura, conforme explica Nascimento (2018).

Além disso, nota-se que, o desvio padrão (s) dos resultados de RCSm de todos os pavers

estudados foram baixos, obtendo como o maior valor de 2,23, correspondendo a substituição de 50% aos 7 dias de cura.

A Figura 4 apresenta os resultados da resistência características a compressão

simples do concreto convencional (RCSc) e dos dois teores de substituição, 25 e 50% de scheelita, nas três idades de cura estudadas.

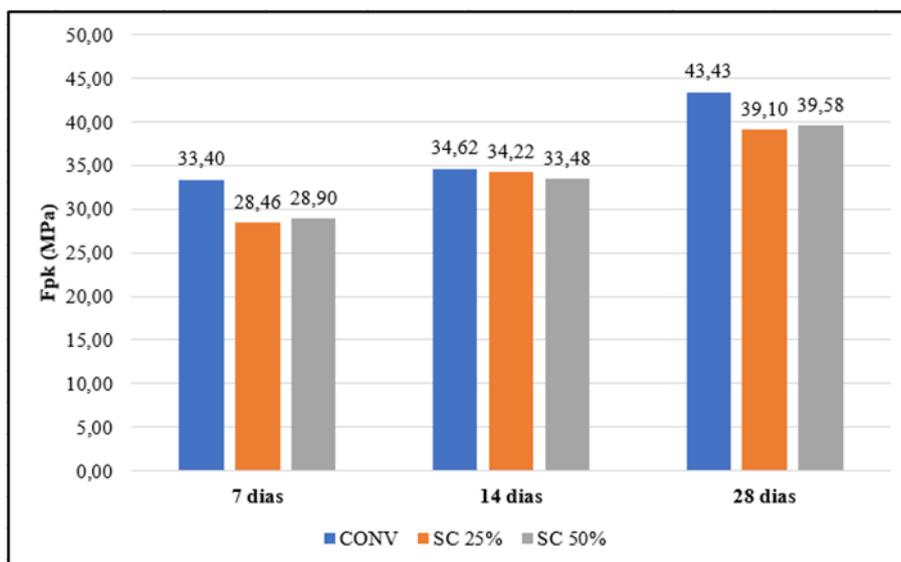


Figura 4. Valores de resistência característica à compressão simples.

De acordo com a Figura 4, verifica-se que, aos 7 dias de cura os pavers com substituição de 25 e 50% de resíduo apresentam, respectivamente, RCSc de 28,46 e 28,90 MPa, valores inferiores ao traço convencional de 33,40 MPa, havendo um pequeno aumento da resistência com o aumento do teor de substituição, este comportamento foi similar ao encontrado por Silva (2017) na substituição parcial do agregado miúdo por cinzas da indústria da cerâmica vermelha.

Analisando o período de cura de 14 dias, percebe-se um progresso maior dos blocos com substituições em relação ao convencional, sendo os valores de RCSc para 25 e 50% de resíduo, respectivamente, 34,22 e 33,48 MPa. No entanto, estes valores mantiveram-se relativamente abaixo do obtido para a mistura de referência.

Para os 28 dias de cura, o concreto convencional exibe uma RCSc de 43,43 MPa, sendo 24,08% superior ao mínimo exigido pela ABNT NBR 9781/2013, que é de 35 Mpa para solicitações de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha. Verifica-se que, nessa idade de cura, as proporções de 25 e 50% de resíduo apresentam, respectivamente, 39,10 e 39,58 MPa, valores inferiores ao obtido para o traço convencional, porém, foram superiores ao exigido pela norma. Assim, este comportamento

difere dos resultados encontrados por Dullius et al. (2018), visto que, todas as substituições do agregado miúdo dos blocos intertravado de concreto pelo resíduo do beneficiamento de pedras preciosas, apresentam valores superiores ao concreto de referência aos 28 dias de cura.

Dessa maneira, a substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de scheelita apresenta-se bastante favorável, haja vista que, aos 28 dias de cura, os dois teores de substituição obtêm resistências superiores ao mínimo exigido pela referida norma, sendo assim este resíduo, possivelmente pode ser utilizado para a fabricação de blocos intertravados de concreto. A partir desses resultados, pôde-se analisar que, a substituição de 50% de resíduo de scheelita é considerada como ótima, pois apresenta uma resistência 13,08% superior ao exigido pela ABNT NBR 9781/2013.

#### Ensaio de resistência à tração na flexão

A Figura 5 apresenta os resultados do ensaio de resistência à tração na flexão dos blocos intertravados de concreto, com o traço convencional e os dois teores de substituição de 25 e 50% de resíduo de scheelita, nas três idades de curas estudadas de 7, 14 e 28 dias.

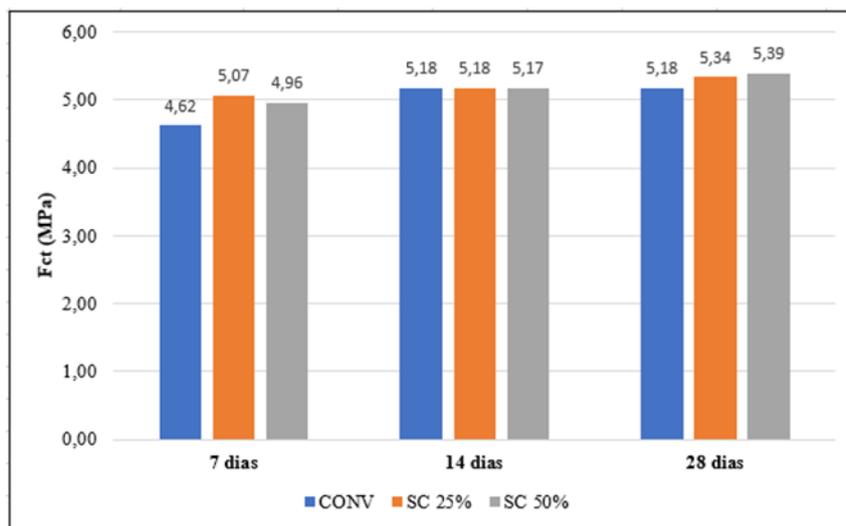


Figura 5. Valores de resistência característica à compressão simples.

Conforme a Figura 5, nota-se que, a substituição de 25% apresenta valores de resistência à tração na flexão bem próximos aos da substituição de 50%, sendo aos 14 dias de cura ligeiramente superior e aos 28 dias de cura um pouco inferior, já o traço convencional aos 7 dias de cura atinge um valor inferior ao obtido para as duas substituições, aos 14 dias se iguala com a substituição de 25%, e aos 28 dias fica abaixo dos dois teores novamente.

A substituição de 50% apresenta o melhor desempenho em relação aos outros dois traços estudados, atingindo uma resistência à tração na flexão de 5,39 MPa aos 28 dias de cura. Tendo em vista que, a norma brasileira não prevê valores de referência para resistência à tração na flexão, utilizou-se a classificação das normas Colombiana (NTC 2017/2004) e Sul-africana (SANS 1058/2009) que é de 5 MPa e 2,2 MPa para tráfego leve, respectivamente. Observa-se então que, os valores obtidos para o concreto convencional e o concreto com resíduo incorporado atendem as exigências das mesmas, estando aptos até para a solicitação de tráfego pesado segundo a norma da África do Sul, que estabelece uma resistência mínima de 2,8 MPa.

Portanto, tanto no ensaio de resistência a compressão simples, quanto no de resistência à tração na flexão, a substituição de 50% de resíduo de scheelita apresenta o melhor resultado aos 28 dias de cura, revelando-se bastante favorável à sua utilização em pavers alternativos.

### Conclusão

A partir do estudo da incorporação do resíduo de scheelita como substituição parcial do agregado miúdo nos pavimentos de blocos

de concreto, pôde-se concluir que, houve um aumento no valor da absorção dos pavers à medida que se acrescentou o resíduo, porém esses valores mantiveram-se dentro dos limites estabelecidos pela ABNT.

Quanto ao desempenho mecânico, os blocos de concreto para pavimentos intertravados demonstraram um acréscimo tanto na resistência à compressão simples, quanto na resistência à tração na flexão, à medida que substituiu-se a areia e o pó de pedra pelo resíduo de scheelita, sendo a substituição de 50% a que apresentou melhor resultado após os 28 dias de cura.

Nessa perspectiva, é viável o emprego do resíduo de scheelita como substituição parcial dos agregados miúdos dos pavimentos intertravados, tendo em vista que, os valores da resistência à compressão simples ao completar o período de 28 dias foram superiores ao limite mínimo exigido. Além disso, os valores de resistência à tração na flexão também foram maiores que a exigência mínima proposta pela norma colombiana e sul-africana.

### Referências

- ANDRADE, S. S. F.; BATISTA, L. S.; MACHADO, W. S.; MEDEIROS, J. K. S. de; SOUZA, T. L. Análise da viabilidade da utilização de resíduos da mineração para fins de pavimentação com base na caracterização e avaliação mecânica. In: Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, 2, 2019, Foz do Iguaçu. Anais...Foz do Iguaçu: Ibeas, 2019. v.2, p.1-9.
- ALMEIDA, A. B. D de.; SOUZA, M. M de.; MENDES, L. B.; FARIAS, D. S. U de.; LIMA, T. C. de.; NÓBREGA, L. F. P. de M. Adição de resíduo de scheelita da mina bodó em cerro corá/RN na composição de materiais cerâmicos. In:

- Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais, 2016, Natal. Anais...Natal, 2016.
- ALMEIDA, S. P. de. Uso de Politereftalato de Etileno (PET) como agregado em peças de concreto para pavimento intertravado. 119f. Tese (Doutorado). Curso de Engenharia de Processos. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2016.
- ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland. Dosagem de concreto: importância, parâmetros e ajustes laboratoriais. (Método ABCP). 2016.
- ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland. Manual de Pavimento Intertravado: Passeio Público. São Paulo, 2010. 36p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Conjunto de normas.
- BATISTA, L. S.; FILHO, M. D. D.; MAIA, Y. W. de A.; CARVALHO, H. G.; SANTOS, C. L. B. dos. Geração de resíduos atribuída a atividade mineradora no Seridó (RN/PB) brasileiro. In: Congresso Sul-americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, 1, 2018, Gramado. Anais...Gramado: IBEAS, 2018. p.1-9.
- DANA, J. D. Manual de Mineralogia. Livros técnicos e científicos, v.2, Rio de Janeiro, 1974, p.421-422.
- BATISTA, L. S.; NASCIMENTO, R. F. do; PASSOS, M. G.; ASSIS, D. P. M. de; SILVA, A. L. A. da. Análise da incorporação de resíduo de scheelita em concreto alternativo para fins de pavimentação. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 9, 2018, São Bernardo do Campo. Anais...São Bernardo do Campo: Ibeas, 2018. v.9, p.1-8.
- DULLIUS, L. T.; GIOVANELLA, C.; NICHEL, S.; BERNHARD, C.; OLIVEIRA, E. C. Utilização do resíduo de beneficiamento de pedras preciosas na fabricação de pisos intertravados de concreto. Revista Destaques Acadêmicos, v.10, n.4, p.91-104, 2018.
- FERNANDES, I. Blocos e Pavers: Produção e controle de qualidade. 7 ed. Ribeirão Preto: Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais Ltda. 2016. 200p.
- GERAB, A. T. F. S. C. Utilização do resíduo grosso do beneficiamento da scheelita em aplicações rodoviárias. 123f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Centro de Tecnologia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2014.
- LEITE, A. L.; OLIVEIRA, E. B. DE; FREITAS, I. G. DE.; MARINO, M. T. R. D. Atividade mineradora e impactos ambientais em uma empresa cearense. Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física, 1, 2017. São Paulo. Anais...São Paulo, 2017. p.7282-7286.
- LOPES, R. C.; BACARJI, E. Pisos intertravados com a incorporação de resíduos minerais. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v.9, n.1, p.22-36, 2014.
- MEDEIROS, M. Estudo de argamassas de revestimento com resíduo de scheelita. 44f. Dissertação (Mestrado). Curso de Engenharia Civil. Centro de Tecnologia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2016.
- MEDEIROS, J. K. S. de; OLIVEIRA, P. K. S.; NASCIMENTO, R. F. do; MACHADO, W. S.; FIGUEIREDO, S. S.; BATISTA, L. S. Resíduo da mineração em substituição do agregado miúdo em concretos alternativos. In: Congresso Brasileiro de Concreto, 60, 2018, Foz do Iguaçu. Anais...Foz do Iguaçu: Ibracon, 2018. v.60, p.1-16.
- NASCIMENTO, R. F. do. Avaliação das propriedades mecânicas de argamassas de assentamento e revestimento incorporadas com resíduos da mineração. 92f. TCC (Graduação). Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal de Campina Grande. Pombal, 2018.
- PAIVA, E. H. G. Avaliação do concreto de cimento Portland com resíduo da produção de scheelita em substituição ao agregado miúdo. 105f. Tese (Doutorado). Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2013.
- PETRY, N. dos S.; DELONGUI, L.; MULLER, A. L.; MASUERO, A. B.; MOLIN, D. C. C. D. Avaliação do uso de resíduos de marmoraria na produção de concretos. Revista de Arquitetura IMED, v.6, n.2, p.71-92, 2017.
- SANS. South Africa National Standards. Standard Specification of Concrete Paving Blocks. SANS 1058/2009.
- SILVA, A. L. B. Produção de concreto utilizando cinzas das indústrias de cerâmica vermelha em substituição ao agregado miúdo. 83f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, 2017.
- SOUZA, M. M. de.; MENDES, L. J. D. B.; MAIA, M. A. O.; ROCHA, A. M. R.; LIMA, T. C. de. Estudo do comportamento térmico e absorção de água em revestimento cerâmico, utilizando na formulação da massa: argila, quartzo, feldspato e resíduos do beneficiamento do caulim. In: Congresso Sul-americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, 1, 2018, Gramado. Anais...Gramado: IBEAS, 2018. v.1, p.1-5.
- SOUZA, T. L.; BATISTA, L. S.; ANDRADE, S. S. F.; MACHADO, W. S.; MEDEIROS, J. K. S. de. Resíduo

de caulim como substituto parcial do agregado miúdo em concretos para pavimento intertravado. In: Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, 2, 2019, Foz do Iguaçu. Anais...Foz do Iguaçu: Ibeas, 2019. v.2, p.1 - 7.

SOUZA, T. L. Estudo da utilização do resíduo de caulim como substituto parcial do agregado miúdo na produção de concreto para pavers. 79f. TCC (Graduação). Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal de Campina Grande. Pombal, 2019.

## Capítulo 8

# ANÁLISE DA EMISSÃO DE GASES EM MOTORES DIESEL COM O USO DE BIODIESEL DE PALMA, ÓLEO DE PALMA E ÓLEO DIESEL

Ângelo José Lessa Braz<sup>1</sup>  
Laerte Corrêa dos Santos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mestre em Engenharia Mecânica - UFF, bacharel em Engenharia Agrícola - UFF, Niterói - RJ,  
angelo.braz@anhanguera.com

<sup>2</sup>Mestre em Engenharia Mecânica - UFRN, bacharel em Engenharia Mecânica - UNESP, Niterói - RJ,  
laertecorrea@globo.com

### Introdução

Nas últimas décadas tem-se observado uma atenção crescente no desenvolvimento de combustíveis obtidos a partir de recursos renováveis denominados biocombustíveis, que representam alternativas energéticas menos agressivas à natureza (CÉSAR & BATALHA, 2010).

A produção de energia a partir da biomassa é uma boa alternativa para os países com grandes áreas de solos e condições climáticas favoráveis como é o caso do Brasil. Economicamente, os biocombustíveis podem representar fontes de emprego e redução nos custos de infraestrutura no desenvolvimento de uma cidade (ALMEIDA et al., 2002).

O óleo diesel, no Brasil, é amplamente importado e é o combustível mais utilizado em ônibus e caminhões e também é usado em motores estacionários para diversos fins. O biodiesel é uma das soluções imediatas mais atraentes para diminuir as importações de óleo diesel. Seu uso não requer uma mudança radical nos motores a diesel, o que significa que eles ainda podem trabalhar com boa eficiência (POUSA et al., 2007).

Em 2005, uma lei brasileira (DL 11097/2005) estabeleceu uma adição obrigatória de 2% de biodiesel ao diesel. A partir daí esse percentual seguiu em um crescimento contínuo, até alcançar o atual patamar, a partir de setembro de 2019, de 11%, sendo que o governo brasileiro pretende aumentar a produção de biodiesel até alcançar o B15, previsto para março de 2023, de acordo com a Resolução nº 16, de 29 de outubro de 2018 do CNPE – Conselho Nacional de Política Energética (MME, 2018).

Entre os diversos óleos vegetais que podem dar origem ao biodiesel, o escolhido para esta pesquisa foi o óleo de palma, que pela alta produtividade de sua cultura, apresenta-se como uma alternativa com viabilidade técnico-econômica para sua produção. O óleo de palma

é extraído da polpa dos frutos da palma (*Elaeis guineensis*), que cresce em cachos com peso de 10 a 20 kg, que podem ter até 2000 frutos. O óleo é extraído da polpa da fruta e do caroço é extraído um óleo usado principalmente na fabricação de sabão (PARENTE et al., 2003).

A produção média anual por hectare é de 19,6 toneladas de cachos de frutas frescas. As estimativas de óleo extraível de cachos de frutas variam. Assumindo um valor de 25% para a extração do óleo, resulta em uma produção média de 4,9 toneladas de óleo por hectare (LAPUERTA et al., 2008).

Considerando que o Brasil possui o óleo de palma e que pode ser utilizado na produção de biodiesel, este trabalho está alinhado ao conceito de desenvolvimento sustentável, além de dar uma contribuição para os índices de emissão de poluentes como uma orientação que concorre para uma proteção ambiental. Portanto, este trabalho tem como objetivo ensaiar em laboratório a aplicação do óleo de palma e do biodiesel de palma devidamente misturados ao óleo diesel em diferentes porcentagens como combustível, em um motor estacionário, a fim de verificar o desempenho e emissões de gases de cada mistura e comparadas com o óleo diesel puro.

### Material e Métodos

As misturas de combustível utilizadas nos testes foram preparadas no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Anhanguera (UNIAN). Utilizou-se Oxx como nomenclatura para designar misturas de óleo de palma com diesel, sendo xx a porcentagem em volume de óleo de palma adicionado ao diesel. Foram utilizadas as seguintes misturas: O5; O10; O15 e O20. Utilizou-se Bxx como nomenclatura para designar misturas de biodiesel com diesel, sendo xx a porcentagem em volume de biodiesel adicionado ao diesel e para o combustível de referência, o diesel puro

a nomenclatura D100. Foram utilizadas as seguintes misturas: B5; B10; B15; B20; B50 e B80 e biodiesel puro (B100).

O diesel utilizado nos ensaios foi adquirido no mercado da cidade de Niterói, e estava de acordo com as características para o diesel metropolitano exigidas pela Agência Nacional do Petróleo (ANP) na Resolução n.º 15 de 17 de julho de 2006 (MME, 2006). Já o óleo de palma foi adquirido da empresa Grand Oil, sendo 100% natural, extraído por prensagem a frio (extra virgem) de insumos de alta qualidade. A extração por prensagem a frio preserva as propriedades e benefícios de óleos vegetais. O

biodiesel de palma foi produzido nos laboratórios da Universidade Anhanguera, e por se tratar de um óleo não refinado o processo de transesterificação é mais complexo. Para tanto foi adotada a técnica da adição da solução de álcool e da base de maneira gradativa, reduzindo assim o processo de saponificação dos ácidos graxos, não originando uma reação acelerada de saponificação dos triglicerídeos (DEMIRBAS, 2003)

Após análise preliminar foram registradas as principais propriedades de cada um dos combustíveis, como observa-se na Tabela 1.

Tabela 1. Propriedades do óleo diesel, óleo de palma e biodiesel de palma

Propriedade	Diesel	Óleo de Palma	Biodiesel de Palma
Densidade kg/m <sup>3</sup> (20°C)	855	915	877
Viscosidade mm <sup>2</sup> /s	4.69	66.260	4.76
Ponto de Névoa °C	2	22	13
Ponto de Fluides °C	-12	17	9
Ponto de Fulgor °C	82	170	163

Os testes foram conduzidos na Universidade Anhanguera em um motor estacionário, modelo Translucidus MT-02 e DINO MD-02, a uma velocidade constante de 3000 rpm e potência variável. Os dados e emissões de desempenho foram medidos continuamente durante o teste e a série de dados foi analisada para obter valores representativos do desempenho do motor. Para cada combustível, foram realizados um teste e uma réplica.

Utilizou-se o analisador de gases Sun Electric modelo CSM 5000-PC, para medir as emissões de CO e de CO<sub>2</sub>. O analisador de gases possui um sistema de medição da concentração de gases pelo método infravermelho não dispersivo (NDIR) e eletroquímico, além de medir temperatura, pressão e temperatura dos gases.

As medições das concentrações de NO<sub>x</sub> e SO<sub>x</sub>, foram realizadas utilizando-se a técnica de absorção molecular. O dispositivo utilizado foi o Espectrofotômetro Digital UV-Visível Faixa 190-1100 nm. A espectroscopia diferencial de absorção óptica (EDA0) é um método para determinar as concentrações de traços de gases, através da medida de suas estreitas bandas de

absorção específicas, na região do UV e visível 134 nm.

## Resultados e Discussão

### *Consumo Específico de Combustível – CEC*

O consumo específico de combustível (CEC) é um indicador da eficiência energética do sistema, ao contrário do consumo horário, é a razão entre a massa de combustível consumida pela potência média dissipada durante um determinado período de tempo. Em outras palavras, o consumo específico de combustível indica qual a massa de combustível necessária para dissipar uma unidade de energia (KALAM & MASJUKI, 2002)

O CEC é menor para a mistura de O5, pois o óleo possui um efeito oxigenador que melhora o desempenho do motor. Como pode-se observar na Tabela 2, o ensaio apresenta uma redução média de 7,63%. Para misturas maiores, o CEC aumenta associado a uma redução no desempenho do motor devido ao menor valor de aquecimento do óleo de palma e do aumento das dificuldades de queima de combustível na câmara de combustão, o que exige mais combustível.

Tabela 2. Comparativo Percentual do Consumo Específico - CEC

<b>Diesel (Referência)</b>	<b>0,642</b>	<b>%</b>					
	05	010	015	020			
Óleo de Palma	0,593	0,641	0,662	0,642			
Diferença Percentual	-7,63	-0,16	3,12	0,00			
	B5	B10	B15	B20	B50	B80	B100
Biodiesel de Palma	0,624	0,625	0,632	0,655	0,675	0,686	0,694
Diferença Percentual	-2,80	-2,65	-1,56	2,02	5,14	6,85	8,10

Com o aumento do percentual de biodiesel na mistura do combustível, a massa específica aumenta, onde por sua vez, provoca um aumento expressivo da viscosidade dinâmica. Isso significa que, para liberar a mesma quantidade de energia liberada pelo diesel, o biodiesel necessita de maior quantidade de massa, aumentando o consumo específico do combustível (CAETANO et al., 2004).

O mesmo fenômeno se repete na mistura B5 que apresenta uma redução média de 2,80%. Para valores maiores da mistura de biodiesel, o CEC aumenta devido ao menor valor de aquecimento do biodiesel, exigindo mais combustível à medida que a taxa de mistura aumenta, esta tendência como pode ser observada na Figura 1. O CEC atinge um aumento de 8,10% no uso de biodiesel puro em comparação ao diesel.

CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTÍVEL DE MISTURAS DE ÓLEO DE PALMA, BIODIESEL DE PALMA COM REFERÊNCIA AO DIESEL ( D100 )

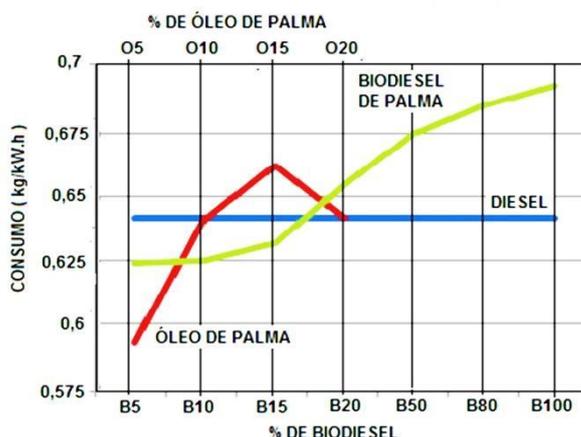


Figura 1. Consumo Específico de Combustível - CEC.

*Emissão de Óxidos de Nitrogênio - NO e NO<sub>2</sub>*

As emissões de NO e NO<sub>2</sub> apresentam aumento com o uso de misturas de óleo de palma no diesel. Para a mistura O5, o aumento de NO é de 10,00%, e o aumento de NO<sub>2</sub> é de 10,53%. Os valores para misturas acima de 5% do óleo de palma são superiores às emissões de diesel. Para mistura O20, o aumento de NO e NO<sub>2</sub> é de 53,33 e 52,42% respectivamente,

Para a mistura B5, o aumento de NO é de 3,33% e o aumento de NO<sub>2</sub> é de 15,16%. No caso

do biodiesel de palma - B100, a emissão de NO quando comparada ao diesel puro, apresenta um acréscimo de 23,33%, e a emissão de NO<sub>2</sub> um acréscimo de 26,74%, como observa-se nas Tabelas 3 e 4. O alto teor de óxidos de nitrogênio ocorre na queima do biodiesel devido ao seu alto teor de oxigênio, o que melhora a eficiência da combustão e promove a redução das emissões de outros poluentes.

Tabela 3. Emissões de NO – Óxido de Nitrogênio

<b>Diesel (Referência)</b>	<b>150</b>	<b>Ppm</b>					
	O5	O10	O15	O20			
Óleo de Palma	165	175	205	230			
Diferença Percentual	10,00	16,67	36,67	53,33			
	B5	B10	B15	B20	B50	B80	B100
Biodiesel de Palma	155	165	215	195	180	175	185
Diferença Percentual	3,33	10,00	43,33	30,00	20,00	16,67	23,33

Tabela 4. Emissões de NO<sub>2</sub> – Dióxido de Nitrogênio

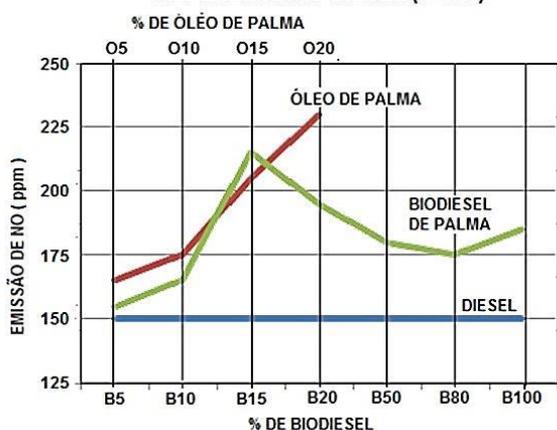
<b>Diesel (Referência)</b>	<b>4,75</b>	<b>Ppm</b>						
	O5	O10	O15	O20				
Óleo De Palma	5,25	5,23	6,49	7,24				
Diferença Percentual	10,53	10,11	36,63	52,42				
	B5	B10	B15	B20	B50	B80	B100	
Biodiesel De Palma	5,47	4,56	6,51	6,02	5,51	5,49	6,02	
Diferença Percentual	15,16	-4,00	37,05	26,74	16,00	15,58	26,74	

O desempenho e as emissões de diferentes misturas de ésteres metílicos do óleo de soja em comparação com o diesel em um motor diesel direto a quatro tempos, apresentam emissões de hidrocarbonetos, monóxido de carbono e fumaça nos escapamentos que são reduzidas quando abastecidas com ésteres metílicos em

comparação ao diesel. Mas as emissões de NO<sub>x</sub> são altas quando abastecidas com ésteres metílicos, em comparação com o diesel (FERRARI et al., 2005).

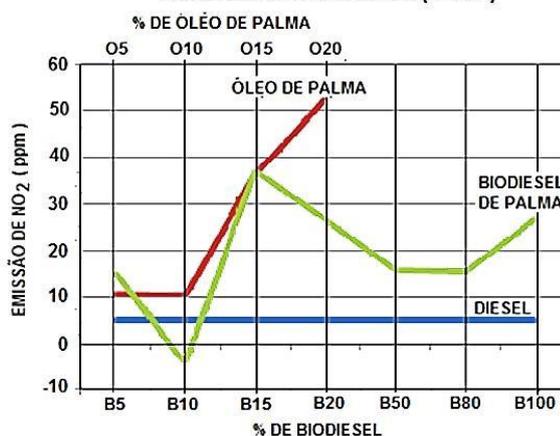
A Figuras 2a e 2b apresentam respectivamente os teores do óxido de nitrogênio e do dióxido de nitrogênio.

COMPARATIVO DA EMISSÃO DE NO PARA MISTURAS DE ÓLEO DE PALMA, BIODIESEL DE PALMA COM REFERÊNCIA AO DIESEL ( D100 )



(a)

COMPARATIVO DA EMISSÃO DE NO<sub>2</sub> PARA MISTURAS DE ÓLEO DE PALMA, BIODIESEL DE PALMA COM REFERÊNCIA AO DIESEL ( D100 )



(b)

Figura 2. a)Emissões de NO; b) Emissões de NO<sub>2</sub>.

*Emissão de Óxidos de Carbono – CO e CO<sub>2</sub>*

Como apresenta-se na Tabela 5, as emissões de CO aumenta com o uso de misturas de óleo de palma no diesel. Para a mistura O5, o aumento de CO é de 4,35%. Os valores para misturas acima de 5% do óleo de palma são superiores às emissões de diesel. Para mistura O20, o aumento de CO é de 23,19%. Para a mistura B5, a redução de CO é de 7,25%. Para o biodiesel puro, a redução na emissão de CO é de

28,99%, em comparação ao diesel. Segundo Feroldi et al. (2014), a adição de biodiesel é benéfica para diminuir os poluentes no meio ambiente; a descarga de partículas diminui com o aumento da adição de biodiesel e a descarga de CO diminui com o aumento da adição de biodiesel na mesma taxa de revolução.

Observa-se na Tabela 6 que, uma mistura O5 aumenta a produção de CO<sub>2</sub> em 12,50% com uma alta contínua, chegando a

49,50% para a mistura O20. A mistura B5 manteve o mesmo percentual de emissão que o diesel, e as demais misturas apresentam uma contínua alta chegando a 24,00% para o

Biodiesel puro – B100. As emissões de CO<sub>2</sub> são maiores nas misturas biodiesel quando comparado ao diesel, indicando uma combustão mais completa.

Tabela 5. Emissões de CO

<b>Diesel (Referência)</b>	<b>345</b>	<b>Ppm</b>					
	O5	O10	O15	O20			
Óleo De Palma	360	350	400	425			
Diferença Percentual	4,35	1,45	15,94	23,19			
	B5	B10	B15	B20	B50	B80	B100
Biodiesel De Palma	320	270	360	350	260	200	245
Diferença Percentual	-7,25	-21,74	4,35	1,45	-24,64	-42,03	-28,99

Tabela 6. Emissões de CO<sub>2</sub>

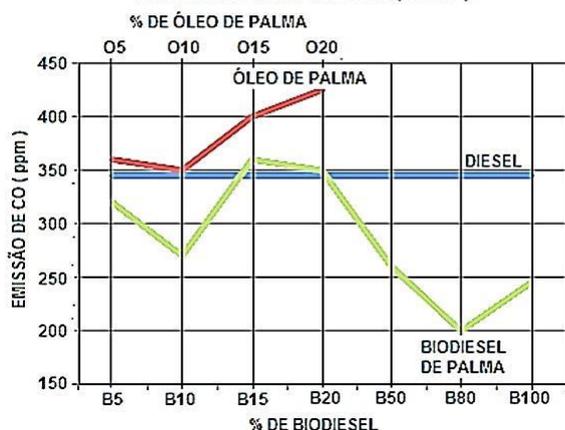
<b>Diesel (Referência)</b>	<b>2,00</b>	<b>%</b>					
	O5	O10	O15	O20			
Óleo De Palma	2,25	2,31	2,82	2,99			
Diferença Percentual	12,50	15,50	41,00	49,50			
	B5	B10	B15	B20	B50	B80	B100
Biodiesel De Palma	2,00	2,39	2,82	2,61	2,69	2,58	2,48
Diferença Percentual	0,00	19,50	41,00	30,50	34,50	29,00	24,00

Almeida et al. (2002) testaram e discutiram o desempenho, as emissões e a contaminação do óleo lubrificante de um motor diesel estacionário operado com óleo de palma 100% puro. A combustão incompleta do óleo de palma por causa da sua pobre atomização e volatilidade produziu redução na viscosidade do óleo lubrificante. A mistura ar-combustível foi afetada pela pobre atomização do óleo

vegetal, isto ocasionou zonas de mistura rica que durante a combustão produziram mais monóxido de carbono (CO) pela falta de oxigênio. As emissões de CO foram incrementadas com o incremento da carga.

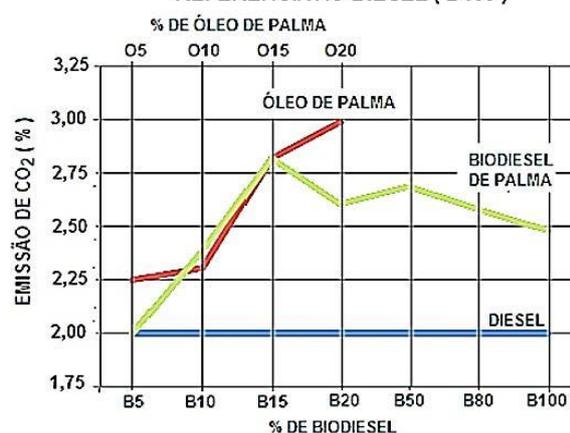
As Figuras 3a e 3b apresentam respectivamente os teores de monóxido de carbono e de dióxido de carbono.

COMPARATIVO DA EMISSÃO DE CO PARA MISTURAS DE ÓLEO DE PALMA, BIODIESEL DE PALMA COM REFERÊNCIA AO DIESEL ( D100 )



(a)

COMPARATIVO DA EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> PARA MISTURAS DE ÓLEO DE PALMA, BIODIESEL DE PALMA COM REFERÊNCIA AO DIESEL ( D100 )



(b)

Figura 3. a) Emissões de CO; b) Emissões de CO<sub>2</sub>.

A formação de monóxido de carbono está relacionada tanto ao excesso de ar quanto ao excesso de combustível. No primeiro caso, o excesso de ar contribui para a dissipação de

calor, não havendo condições para a chama se auto sustentar, extinguindo-se antes que da queima completa. No segundo caso, não há oxigênio suficiente para que ocorra a oxidação

dos monóxidos de carbono em dióxidos de carbono, ocorrendo também liberação de hidrocarbonetos na descarga (MENDES, 2012).

*Emissão de Dióxido de Enxofre - SO<sub>2</sub>*

A produção de SO<sub>2</sub> é causada pela oxidação do enxofre presente no combustível. Ainda que, a adição dos triglicerídeos reduza a presença de enxofre no combustível, a causa da produção de óxidos de enxofre pode ser devido ao aumento das temperaturas na câmara de

combustão e à consequente degradação dos óleos lubrificantes no motor e a volatilização dos depósitos de combustível não queimado no interior da câmara de combustão.

Observa-se, na Tabela 7 que, as porcentagens de emissão de SO<sub>2</sub> para as misturas são sempre inferiores às do diesel. A produção de SO<sub>2</sub> é causada pela oxidação do enxofre no combustível. Para a mistura B20 a redução de SO<sub>2</sub> é de 58,332%. Para o biodiesel puro - B100, a redução de SO<sub>2</sub> é de 41,676%.

Tabela 7. Emissões de SO<sub>2</sub>

<b>Diesel (Referência)</b>	<b>2,4</b>	<b>Ppm</b>					
	05	010	015	020			
Óleo De Palma	2,2	1,5	2,4	5,6			
Diferença Percentual	-8,33	-37,50	0,00	133,33			
	B5	B10	B15	B20	B50	B80	B100
Biodiesel De Palma	1,8	1,7	2,5	1	1,6	1,7	1,4
Diferença Percentual	-25,00	-29,17	4,17	-58,33	-33,33	-29,17	-41,67

A adição de biodiesel no combustível diesel reduz o teor de enxofre no combustível e em consequência a emissão de SO<sub>2</sub>. Misturas com concentrações maiores de biodiesel apresentam menores emissões do dióxido de enxofre. A emissão dos dióxidos de enxofre para

as misturas tem um crescimento menor em função da demanda de energia (KNOTHE, 2006).

Na Figura 4 observa-se os teores de dióxido de enxofre.

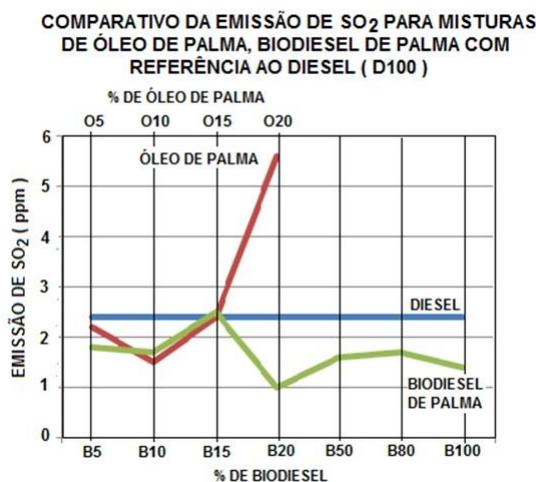


Figura 4. Emissões de SO<sub>2</sub>.

**Conclusão**

O óleo de palma apresentou-se inadequado para a aplicação direta como combustível, em misturas ou em substituição do óleo diesel devido a grande emissão de poluentes, porém o biodiesel de palma pode ser adicionado ao combustível diesel para ser queimados em motores de combustão. pois têm uma capacidade oxigenante que é útil para melhorar o desempenho do motor, mas esta capacidade só traz vantagem quando a

proporção da mistura é de até 15%. Utilizar proporções maiores de mistura gerou aumentos no CEC de até 9% em média, quando biodiesel puro é utilizado.

Porém, com a adição de componentes oxigenados, a emissão de NO aumentou. A adição de óleo de palma apresentou maior efeito sobre a emissão de NO, atingindo níveis de aumento de até 50%. A adição de biodiesel de palma aumentou a emissão de NO em uma média de 25%. O mesmo ocorreu na emissão de

NO<sub>2</sub>. O aumento foi maior quando se adicionou óleo de palma na faixa de 5 até 20%, quando comparada com a emissão das misturas com biodiesel e palma na mesma porcentagem. As misturas com óleo de palma emitiram em média 25% mais NO<sub>2</sub> do que o diesel. Misturas com biodiesel de palma emitiram em média 25% mais NO<sub>2</sub> do que é emitido nos testes com combustível diesel.

A emissão de CO para misturas de óleo de palma, diminuiu somente até a adição de 10%, já para as misturas com biodiesel de palma a diminuição das emissões do CO aumentaram com o aumento da mistura, atingindo uma porcentagem média de 25% quando biodiesel puro foi utilizado. Já para o CO<sub>2</sub>, a adição de óleo de palma e biodiesel de palma no diesel aumentou a emissão em 37% em média.

As adições de óleo de palma e biodiesel de palma diminuíram o teor de enxofre no combustível e em consequência diminuíram a emissão de óxidos de enxofre.

### Referências

ALMEIDA, S. de; BELCHIOR, C.; NASCIMENTO, M.; VIEIRA, L.; FLEURY, G. Performance of a diesel generator fuelled with palm oil. *Fuel*, v.81. p.2097-2102, 2002.

ANP. Ministério de Minas e Energia Agência Nacional do Petróleo. Resolução Nº 15, de 17 de julho de 2006. Dispõe sobre gás natural e biocombustíveis. D.O.U. de 19.7.2006.

CAETANO, L.; DUARTE JR., L. A. Estudo comparativo da queima de óleo B.P.F. e de lenha em caldeiras: Estudo de Caso. Instituto Politécnico, São Paulo, 2004.

CARRATERO, C.; MACOR, A.; MIRANDOLA, A.; STTOPATO, A.; TONON, S. Biodiesel as alternative fuel: Experimental analysis and energetic evaluation. *Energy*, v.29, p.2195-2211, 2004.

CÉSAR, A. da S.; BATALHA, M. O. Biodiesel in Brazil: history and relevant policies. *Journal of Agricultural Research*, v.5, p.1147-1153, 2010.

CNPE. Ministério de Minas e Energia Conselho Nacional de Política Energética. Resolução Nº 16, de 29 de outubro de 2018. Dispõe sobre a evolução da adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional. D.O.U. de 08.11.2018.

DEMIRBAS, A. Biodiesel fuels from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical alcohol transesterifications and other methods and survey. *Energy Conversion and Management*, v.44 p.2093-2109, 2003.

FERRARI, R. A.; OLIVEIRA, V. S.; SCABIO, A. Biodiesel de soja - taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. *Química Nova*, v.28, p.19-23, 2005.

FEROLDI, M.; CREMONEZ, P. A.; ESTEVAM, A. Dendê: do cultivo da palma à produção de biodiesel. *Revista Monografias Ambientais*, v.3, p.3800-3808, 2014.

GHOJEL, J.; HONNERY, D.; AL-KHALEEFI, K. Performance, emissions and heat release characteristics of direct injection diesel engine operating on diesel oil emulsion. *Applied Thermal Engineering*, v.26, p.2132-2141, 2006.

KALAM, M. A., MASJUKI, H. H. Biodiesel from palm oil — An analysis of its properties and potential. *Biomass and Bioenergy*, v.23, p.471-479, 2002

KNOTHE, G.; SHARP, C.; RYAN, T. Exhaust emissions of biodiesel, petrodiesel, neat methyl esters, and alkenes in a new technology engine. *Energy and Fuels*, v.86, p.403-408, 2006.

KNOTHE G.; DUNN R. O.; BAGBY M. O. Biodiesel: the use of vegetable oils and their derivatives as alternative diesel fuels. *Fuels and Chemicals from Biomass*. In: SAHA, B. C. Ed. *Fuels and Chemicals from Biomass*. American Chemical Society. New York, p.172-202. 2005.

LAPUERTA, M.; ARMAS, O.; FERNANDEZ, J. R. Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions. *Progress in Energy and Combustion Science*, v.34, p.198-223, 2008.

LOPES A.; PEREIRA R.; ANGELI C.; CASTRO P.; FRAGA A.; NAVES G.; KAZUSHI A. Potencialidades do biodiesel no Brasil. *Diário Oficial do Estado de São Paulo*, v.114, n.91, seção II, p.2, 2005.

MENDES, L. A. de N. Desempenho e emissões de um motor Diesel operando com baixas vazões de hidrogênio. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2012.

NASCIMENTO, E. P.; VIANNA J. N.; BUARQUE, C.; BURSZTYN M.; DUARTE, L.; MELLO, N.; BECKER, B. K.; WERMANN, M. S. Dilemas e desafios do desenvolvimento sustentável no Brasil. Garamond, Rio de Janeiro, 2007. 144p.

PETERSON, C.; HUSTRULID, T. Carbon cycle for rapeseed oil Biodiesel fuels. *Biomass and Bioenergy*, v.14, p.91-101, 1998.

PIMENTEL, V.; BELCHIOR, C. Análise e diagnose de diesel geradores operando com óleo de dendê in natura. Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2002. 10p.

POUSA, G. P. A.; SANTOS, A.; SUAREZ, P. History and policy of biodiesel in Brazil. *Energy Policy*, v.35, p.5393–5398, 2007.

RAKOPOULOS C. D.; ANTONOPOULOS, K. A.; RAKOPOULOS, D. C.; HOUNTALAS, D. T.; GIAKOUMIS E. G. Comparative performance and

emissions study of a direct injection diesel engine using blends of diesel fuel with vegetable oils or bio-diesels of various origins. *Energy Conversion and Management*, v.47, p.3272-3297, 2006.

## Capítulo 9

# **USO DE GEOTECNOLOGIAS APLICADAS NA IDENTIFICAÇÃO DA QUALIDADE DE VIDA DA POPULAÇÃO DO MUNICÍPIO DE PORTO XAVIER, RS**

**Adriane Avelhaneda Mallmann<sup>1</sup>**  
**José Américo de Mello Filho<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Mestranda em Engenharia Florestal, UFPR/Campus Jardim Botânico, Curitiba- PR, mallmann.adriane@gmail.com

<sup>2</sup>Professor Titular, UFSM/DER/CCR/Campus Santa Maria-RS, jamellofilho@gmail.com

### **Introdução**

Ao final da década de 1960, como consequência do sistema remanescente da Revolução Industrial e do surgimento da Revolução Verde que visavam apenas a produtividade com foco no crescimento econômico e sem zelo pela qualidade ambiental (MALLMANN, 2017), o interesse pelas questões ambientais teve maior manifestação, e o tema meio ambiente passou a ser motivo de discussões, estudos e reflexão (MELLO FILHO, 2003). O conceito do termo “meio ambiente”, em concordância com a definição estabelecida na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, celebrada em 1972 em Estocolmo, compreende o conjunto estruturado de componentes físicos, químicos, biológicos, políticos e sociais, que oferecendo espacialidade, são capazes de causar efeitos diretos ou indiretos a curto e longo prazo, sobre os seres vivos e as atividades humanas (PUENTE et al., 2008; MELLO FILHO, 2003; MELLO FILHO & LIMA, 2000). Desse modo, pode-se dizer que a principal meta dos pesquisadores que têm o ambiente como tema de pesquisa é compreender a integração desse elenco multivariado de fatores que ocorrem em um determinado espaço (MALLMANN, 2017).

O homem em sua busca contínua por desenvolvimento, sempre foi guiado pelo desejo de obter recompensas, como maior conforto e melhor qualidade de vida e para isso, desde os primórdios faz uso dos recursos naturais, utilizando-se de técnicas consideradas as mais apropriadas para cada época de atuação (MALLMANN, 2017; MELLO FILHO, 2003). Segundo os autores, essa conquista do espaço geográfico pelas diversas civilizações ao longo da história, associada ao mau uso dos recursos naturais causaram perdas que não se mostraram significativas inicialmente, até começarem a gerar tensões ambientais e danos como poluição, perda e fragmentação de florestas, perdas qualitativas e quantitativas de

solo, processos de extinção de espécies da fauna e flora, entre outras problemáticas presentes no nosso cotidiano. Esses problemas oriundos do descaso com o ambiente, gerados e dispersos por todo o planeta, sempre foram foco de estudos de natureza acadêmica, cujos resultados ficavam restritos quase exclusivamente ao meio científico. Mas, com a conscientização sobre os problemas causados pela exploração desordenada e desenvolvimento geográfico sem infraestrutura e planejamento, essas informações passaram a ser de interesse e de conhecimento de boa parte da população, principalmente devido ao maior acesso e à maior eficiência das fontes de informação.

É importante destacar que toda ação humana gera inevitavelmente algum tipo de impacto ao meio ambiente, por isso é imprescindível que o homem busque alternativas de modo a manter o equilíbrio no processo dinâmico que é o desenvolvimento e com conhecimento, mitigar os efeitos negativos que gera sobre o espaço geográfico. Em vista disso, a análise ambiental se mostra uma eficiente ferramenta de apoio à decisão e uma forma de união entre a produção científica e o real fornecimento de informação, por meio da qual é possível a associação das prováveis relações de causa e efeito entre as variáveis componentes de um estudo (SILVA & SOUZA, 1987). Porém, para que as informações geradas sejam úteis à sociedade, devem estar baseadas e estruturadas em proposições de irretorquível credibilidade, daí a importância do envolvimento de profissionais competentes nesse processo e de órgãos públicos que estejam dispostos a trabalhar com essas informações (MALLMANN, 2017).

Desse modo, para fazer uso dos benefícios da utilização da análise ambiental, faz-se necessário, antes de tudo, o diagnóstico prévio da área, para que se conheçam os aspectos econômicos, ambientais e sociais da atual

qualidade de vida da população residente na área, bem como um levantamento de dados que ofereça suporte eficiente para que se possa observar, questionar e compreender a realidade, e assim, cientificamente, elaborar estudos ambientais, inventários, diagnósticos, zoneamentos e estabelecer metodologias para melhor efetuar a gestão ambiental e fundamentalmente elevar o nível da qualidade de vida humana (MALLMANN, 2017).

Sendo assim, a área de estudo do presente trabalho se encontra no município de Porto Xavier-RS, que teve o rio Uruguai como fator importante para sua formação, e assim como várias cidades, possui a sua população estabelecida às margens desse importante e internacional rio. Esse processo de ocupação em terrenos marginais aos recursos hídricos, com a destruição da mata ciliar e a impermeabilização do solo, contribui para agravar os problemas de drenagem nessas áreas, assoreamento dos mananciais e inundações (PORATH, 2004) e esse último é um dos problemas mais visíveis no município, que ao longo dos anos, é atingido frequentemente por inundações, ocasionadas pelo aumento do nível das águas do Rio Uruguai, que avançam em grande parte sobre a área urbana do município, causando perdas e destruição, deixando pessoas desabrigadas e algumas vezes vítimas fatais (MALLMANN, 2017; RIGHI & ROBAINA, 2010).

Empregando-se os conhecimentos científicos e metodológicos propostos pela geotecnologia, com os recursos possibilitados pelo sensoriamento remoto, cartografia e geoprocessamento. Com a identificação das condições de qualidade de vida da população, a partir da análise espacial associada com informações socioeconômicas, tenciona-se avaliar a problemática ambiental da cidade, bem como com a disponibilização das informações obtidas possibilitar que órgãos públicos sejam capazes de repensar o espaço e verificar as áreas que necessitam de atenção especial (MALLMANN, 2017).

Portanto, o objetivo deste trabalho consiste na análise da variação da qualidade ambiental territorial do município de Porto Xavier -RS, com foco na identificação de áreas de risco de inundação na área urbana do município.

### Material e Métodos

O município de Porto Xavier está localizado a noroeste do estado do Rio Grande do Sul (RS), à margem esquerda do Rio Uruguai. Situa-se entre as coordenadas geográficas 27°50'00" e 28°3'00" de latitude Sul e 55°00'00" e 55°30'00" de longitude Oeste, na microrregião de Cerro Largo (Figura 1).

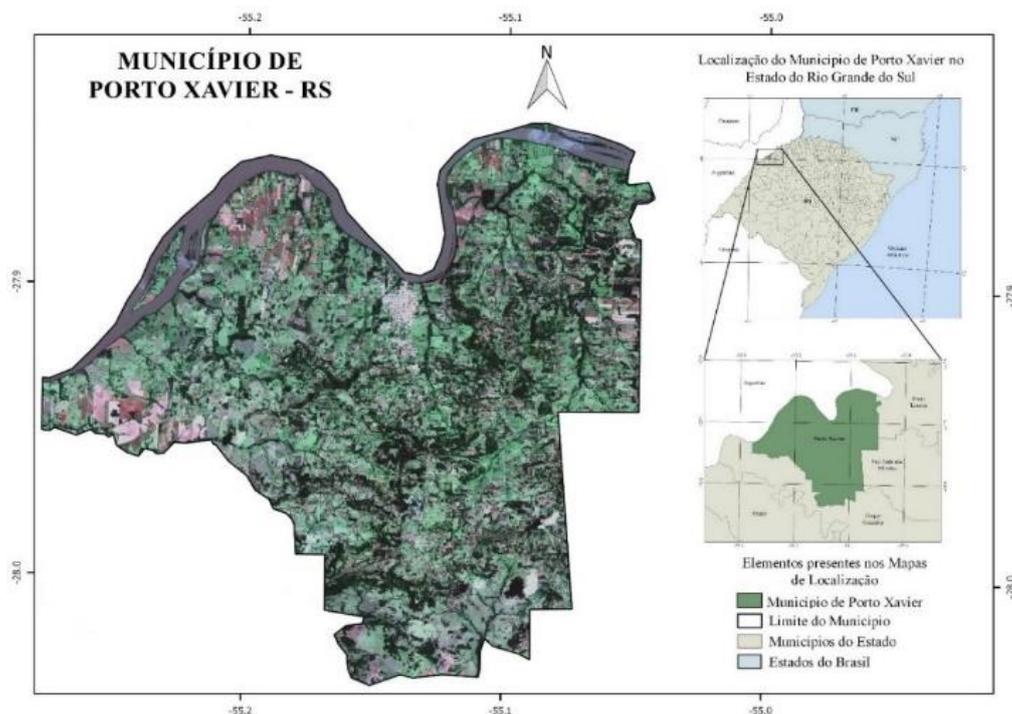


Figura 1. Localização do município de Porto Xavier - RS.  
Fonte: IBGE (2015); Sentinel (2016).

Abrange uma área de aproximadamente 280,5 km<sup>2</sup>, corresponde a cerca de 0,1% do território do Rio Grande do Sul. Hoje, com mais de 50 anos de independência, o município compreende a área definida como majoritariamente rural com zona urbana em constante expansão. Possui uma população de 10.558 habitantes e densidade demográfica de 37 habitantes/km<sup>2</sup>, com cerca de 49,4% destes residindo em área urbana (IBGE, 2010), próximos ao Rio Uruguai.

O clima do município classifica-se como Subtropical - Cfa segundo a classificação de Köppen (MORENO, 1961). O Cfa tem como características chuvas durante todos os meses e temperatura superior a 22°C no mês mais quente e superior a 3°C no mês mais frio. Conforme Moreno (1961), chove todos os meses do ano no município. A precipitação anual é de cerca de 1816mm, a precipitação média mensal é de 151mm, e o mês mais chuvoso corresponde a abril, e o mais seco a agosto. De acordo com os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2017), a precipitação anual apresenta-se em torno de 1900mm e a precipitação média mensal é de 158mm.

A variação da temperatura no Rio Grande do Sul é dependente da movimentação das massas de ar, das diferenças de altitude, da maritimidade e da continentalidade. Durante a maior parte do ano, mais precisamente no verão, a região oeste do estado encontra-se sob influência da Massa Tropical Continental (mTc), já durante o inverno a região passa a sofrer influência da Massa Polar Atlântica (mPa). Em alguns anos a influência da Massa Polar Atlântica é constante, o que mantém constantes as temperaturas frias durante o inverno, já em alguns anos essa massa é influenciada pela Massa Tropical Atlântica (mTa) e é quando se dão grandes variações, acompanhadas de bruscos contrastes térmicos (MORENO, 1961). Porto Xavier não sofre influência da maritimidade, pois o município se encontra afastado do litoral, já com relação a continentalidade, esse é um dos fatores responsáveis pelas grandes amplitudes térmicas encontradas no município (MORENO, 1961).

A geada é um fenômeno de ocorrência comum em Porto Xavier, que possui comumente 12 dias de geada por ano. A variação desse fenômeno ao longo dos anos está na dependência direta da movimentação das massas de ar. Assim, se a Massa Polar Atlântica (mPa) tiver atuação constante durante o

inverno, a ocorrência de geadas atinge o seu máximo, agora se a Massa Tropical Atlântica (mTa) por algumas vezes invadir o território, a ocorrência de geadas diminui (MORENO, 1961).

A quantidade de vapor d'água contida na atmosfera é um fator climático de grande importância, por ter influência na vida vegetal, animal e humana. Segundo Moreno (1961), a umidade é refletida na sensação de calor produzida pela temperatura, o ar seco torna as temperaturas extremas mais agradáveis e suportáveis, e a combinação de diferentes valores de umidade e temperatura geram áreas de conforto ou desconforto térmico. Porto Xavier está localizado na planície do Vale do Uruguai, que em virtude da baixa altitude e da continentalidade, sofre com a ocorrência de valores máximos de umidade atmosférica, entre 70 e 82%, com média de 75%. Devido a esse elevado grau higrométrico, o município, durante boa parte do ano, fica fora da zona de conforto térmico.

Para a criação da base de dados georreferenciada foram utilizadas diversas plataformas de pesquisa. Foram adquiridos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) os limites políticos dos municípios do estado do Rio Grande do Sul, no formato *shapefile*, de acordo com a estrutura político-administrativa vigente em 01/07/2015 na escala de 1:250.000, com projeção UTM (Universal Transversa de Mercator) e Datum de origem SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas).

Do *United States Geological Survey* (USGS), foram adquiridas gratuitamente imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) com resolução espacial de 30 metros e Datum de origem WGS84, que possuem valores de altitude do terreno. No *software* QGIS versão 2.14 as imagens passaram pelo processo de união (mosaico), a imagem resultante foi reprojetaada para o Datum SIRGAS 2000, Fuso 21 Sul e posteriormente foi recortada a área de interesse.

Para criar as cartas hipsométricas do município e da área urbana, as altitudes nessas áreas foram divididas em 5 classes, de acordo com as variações de altitude da área analisada. Para o município as classes foram de: 78 a 80 m; 81 a 133 m; 134 a 189 m; 190 a 244 m; e 245 a 300 m. Já na área urbana essas classes foram de: 80 a 85 m; 86 a 133 m; 114 a 142 m; 143 a 171 m; e 172 a 200 m. Em ambas as cartas, foi adicionado o Modelo Numérico do Terreno (MNT) que corresponde a uma representação

matemática computacional da distribuição espacial de uma determinada característica vinculada a uma região da superfície, uma ferramenta importante de representação da paisagem, recuperando o seu aspecto de tridimensionalidade (FELGUEIRAS, 2017). Esse foi criado a partir da imagem SRTM com a utilização dos seguintes parâmetros: Fator Z (exagero vertical) = 3; Azimute de Insolação = 315° e Altitude de Insolação = 45°. Nas cartas

hipsométricas foram adicionadas curvas de nível com intervalos de 50 metros para o município e 10 metros para a área urbana.

As cartas de declividades do município e da área urbana foram criadas utilizando como base a imagem SRTM. As declividades foram calculadas em percentagem e classificadas por meio de programação em *Python*, de acordo com as definições da EMBRAPA (1979) (Tabela 1).

Tabela 1. Classes de declividade e intervalos

Classe de Declividade	Declividade (%)
Plano	0 a 3
Suave ondulado	3 a 8
Ondulado	8 a 20
Forte ondulado	20 a 45
Montanhoso	45 a 75
Escarpado	>75

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (1979).

Na plataforma da *European Space Agency* (ESA) foi adquirida gratuitamente a imagem orbital do município, do satélite *Sentinel - sensor 2A*, imagem composta por 13 bandas, em que, as bandas utilizadas para a composição foram as B2, B3 e B4 com resolução espacial de 10 metros. A imagem data de dezembro de 2016 e foi selecionada por apresentar menor concentração de nuvens. As bandas originalmente são foram obtidas no formato *.jp2*, para a conversão desse formato para *.GeoTiff*, utilizou-se o *software* SNAP disponibilizado pela ESA e específico para essas imagens. Após a conversão dos arquivos, as bandas foram reprojadas do sistema de projeção UTM, Datum WGS84 para o sistema de projeção UTM, Datum SIRGAS 2000. Para a realização da composição colorida na cor natural ou verdadeira, a banda B4 foi associada ao canal R (*Red*), a banda B3 ao canal G (*Green*) e a banda B2 ao canal B (*Blue*). Após a elaboração da composição colorida, a imagem foi recortada usando como máscara o limite político do município de Porto Xavier e o *layout* de impressão da carta foi finalizado no compositor de impressão do QGIS.

Por meio do complemento *Open Layers plugin* do QGIS, foi obtida a imagem orbital do *Google Satellite* que cobre toda área urbana do município. Foram salvas 60 imagens na escala de 1:2500, formato *.GeoTiff*, na sequência reprojadas do Datum WGS84 para o Datum SIRGAS 2000, fuso 21, Sul e posteriormente passaram pelo processo de união (mosaico) para gerar a imagem final. Essa imagem foi

utilizada para as vetorizações da área urbana, áreas de preservação permanente (APP), rede de drenagem e identificação das classes de uso e ocupação do solo.

Do site da Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM) foram obtidos os *shapefiles* com a rede de drenagem para criar a carta de drenagem do município, expressa na escala 1:125.000, com curvas de nível de 20 metros e no sistema de projeção UTM, Datum SIRGAS 2000. Para criar a carta da rede de drenagem da área urbana do município, na escala de 1:30.000 e com curvas de nível de 10 metros, sobre a imagem orbital do *Google Satellite* foi vetorizada a rede de drenagem constituída pela margem do Rio Uruguai, cursos de rios, açudes, sangas e lajeados.

A carta de uso e ocupação solo foi elaborada com base na carta imagem da área urbana, onde foram identificadas cinco classes de uso: I) Área Urbanizada: áreas com ocupações consolidadas identificadas pela existência de construções e pavimentações; II) Agricultura: áreas cultiváveis, solo exposto, solo em pousio; III) Floresta: cobertura vegetal de maciços florestais naturais e artificiais; IV) Campos: cobertura vegetal de forração gramínea e de pequeno porte; e V) Água: formações naturais (banhados e lagos) e artificiais (barragens e açudes). A vetorização se deu por meio da criação de *shapefiles* na escala de 1:2500 e posteriormente a área ocupada por esses elementos no terreno foi calculada e apresentada em hectares e percentagem. Para quantificar a porção aproximada de água

presente na área, foi criado um *buffer* de 2 metros em torno da rede de drenagem, simulando a largura média desses cursos d'água.

Para a delimitação das Áreas de Preservação Permanente (APP) por rede de drenagem na área urbana do município, foi considerado o Artigo 4º da Lei de Proteção da Vegetação Nativa, o Código Florestal Brasileiro (Lei 12.651/2012), que aponta as APP das áreas rurais e urbanas como sendo as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de 30 metros para os cursos d'água de menos de 10 metros de largura. A elaboração da carta de áreas de preservação permanente (APP) envolveu a criação *buffers* de 30 metros no entorno da rede de drenagem, representando as dimensões legais em que as APP deveriam abranger. A classe de uso do solo Floresta foi recortada tendo como máscara os *buffers* de 30 metros para assim se obter a vegetação existente dentro desse limite. Assim, com uma operação de diferença entre essas duas camadas, foi possível identificar as porções de APP que não atendiam a legislação.

A análise socioeconômica foi realizada com base nos dados do Censo Demográfico do IBGE (2010) e do estudo realizado pelo Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE, 2016), intitulado como Perfil das Cidades Gaúchas. No QGIS, depois de filtrados e estabelecidos os limites dos setores censitários, foram importadas as tabelas com os dados de interesse e atrelados aos seus respectivos setores. Dessa forma, os dados contidos nas tabelas de atributos foram espacializados. O cálculo da densidade demográfica por setor censitário foi realizado,

dividindo-se o número de Moradores em domicílios particulares permanentes ou população residente em domicílios particulares permanentes pela área de cada setor. Para classificar a concentração populacional por setor, foi aplicada programação *Python*. Com relação ao perfil econômico da população residente na área urbana, foram calculadas as classes de rendimento médio nominal da população, com 10 anos ou mais, com e sem rendimento, considerando o salário mínimo de R\$ 510,00 vigente no ano de 2010.

Por meio da pesquisa no Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD) da Defesa Civil do Rio Grande do Sul, foram obtidos Relatórios Técnicos (ReTec); Portarias; Avaliações de Risco (Avadan); e Formulários de Informações dos Desastres (Fide) e mediante a pesquisa foi elaborada a relação eventos de inundação ocorridos no município, no período de 1972 a 2017 e a identificação da elevação que as águas alcançaram acima do nível normal do rio. De porte da cota de inundação, dos mapas básicos, como o de declividade, hipsometria, drenagem, curvas de nível e relevo, e com integração dos limites dos setores censitários sobre a área urbana, com as informações sobre a concentração populacional e renda, foi possível identificar o perfil econômico dos moradores das áreas de risco e críticas de inundação na área urbana do município.

### Resultados e Discussão

De acordo com os resultados obtidos o município apresenta 131,64 km de cursos de rios distribuídos na área de 28.050 ha, que correspondem a uma densidade de drenagem de aproximadamente 4,7 m/ha (Figura 2).

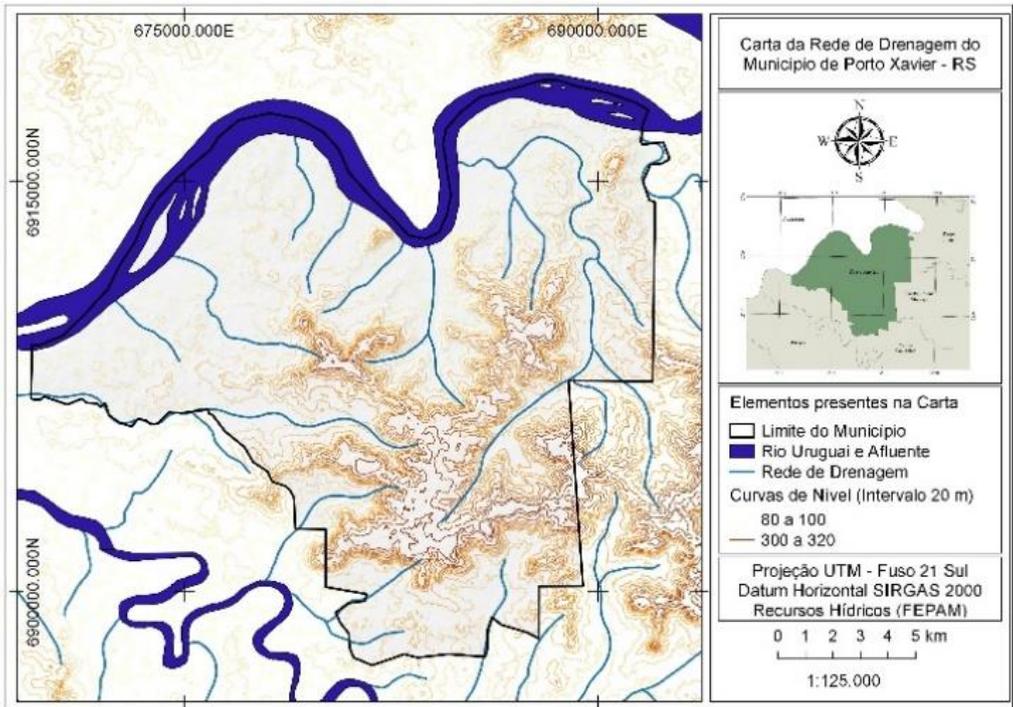


Figura 2. Carta de rede de drenagem do município.

A área urbana, em vista desse trabalho, foi delimitada levando em consideração o processo de expansão do município e apresenta 14,2 km<sup>2</sup>. A drenagem da área urbana é constituída pela

margem do Rio Uruguai, cursos de rios, açudes, sangas e lajeados (Figura 3) e o conjunto desses corpos d'água correspondem a 0,71% da área urbana.

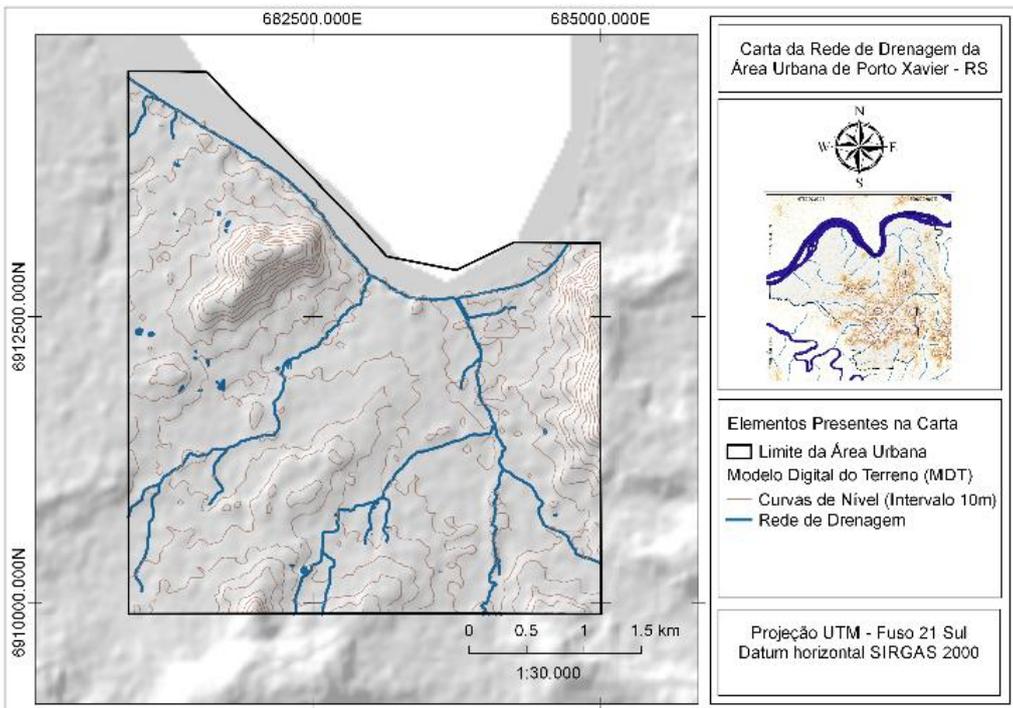


Figura 3. Carta de rede de drenagem da área urbana.

As altitudes do município estão representadas em cinco classes (Figura 4), o menor valor de altitude é de 78 metros e o maior de 289 metros. Já as altitudes da área

urbana do município, variam de aproximadamente 85 a 190 metros (Figura 5).

O nível normal do rio encontra-se a aproximadamente 80 metros de altitude e a maior parte da área urbana do município

apresenta classes de altitude que variam de 78 a 80 m e de 81 a 113 m, situadas próximas ao rio e próximas a rede de drenagem,

respectivamente, o que demonstra que, essas regiões podem ser facilmente afetadas mesmo por inundações de pequena escala.

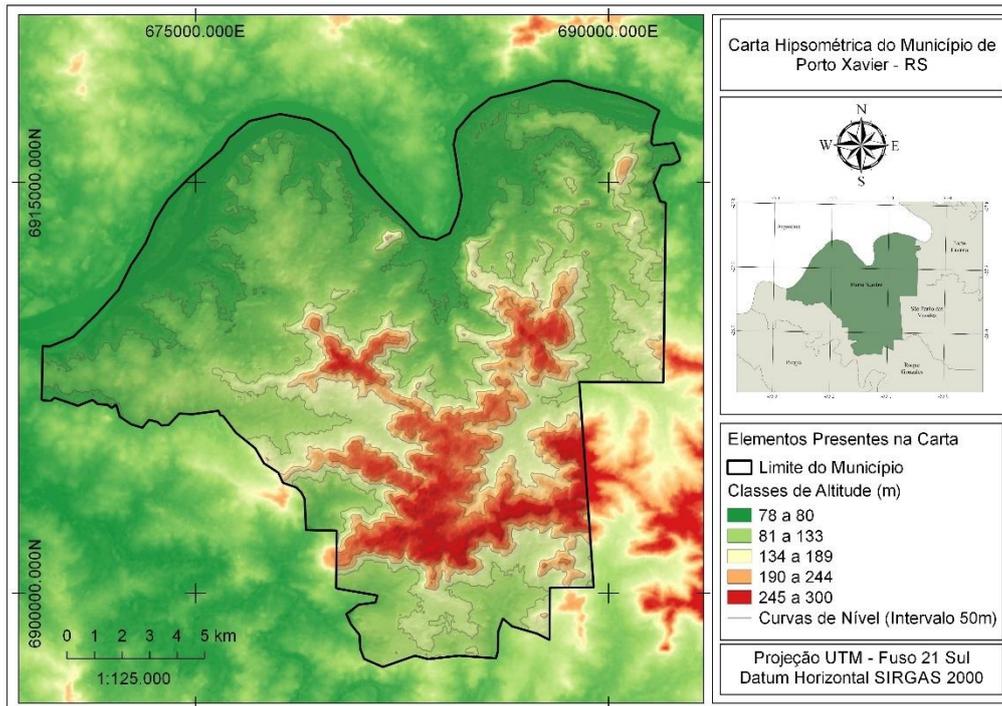


Figura 4. Carta hipsométrica do município.

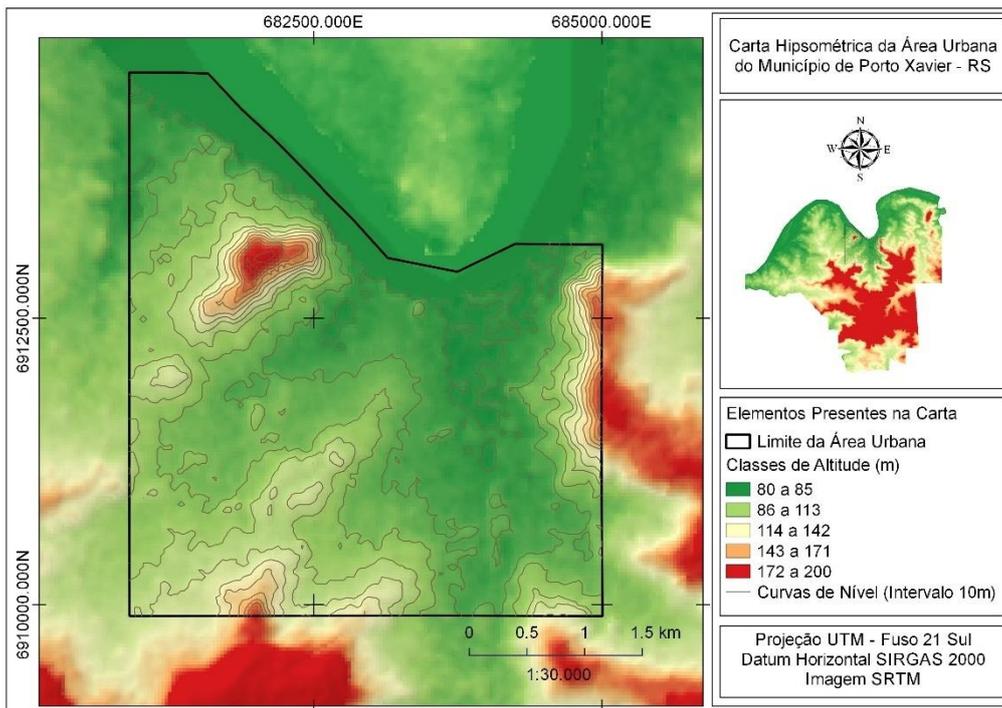


Figura 5. Carta hipsométrica da área urbana.

A determinação da declividade é fundamental para a definição do grau de fragilidade de um determinado local. A declividade tem uma relação direta com a ocorrência de processos erosivos, quanto maior

a inclinação do relevo, maior a velocidade de escoamento (CRUZ et al., 2010).

O município apresenta 5 classes de declividade (Figura 6). A classe plana (verde escuro), a suave ondulado (verde claro) e a ondulada (amarelo) são visualmente

predominantes em todo o município e ocupam as maiores áreas, 17,2 km<sup>2</sup>, 40,2 km<sup>2</sup> e 30,8 km<sup>2</sup>, respectivamente. Já a classe forte ondulada (laranja) se apresenta em menor proporção e

são poucas as porções do terreno que apresentam a classe montanhoso (laranja escuro) (Tabela 2).

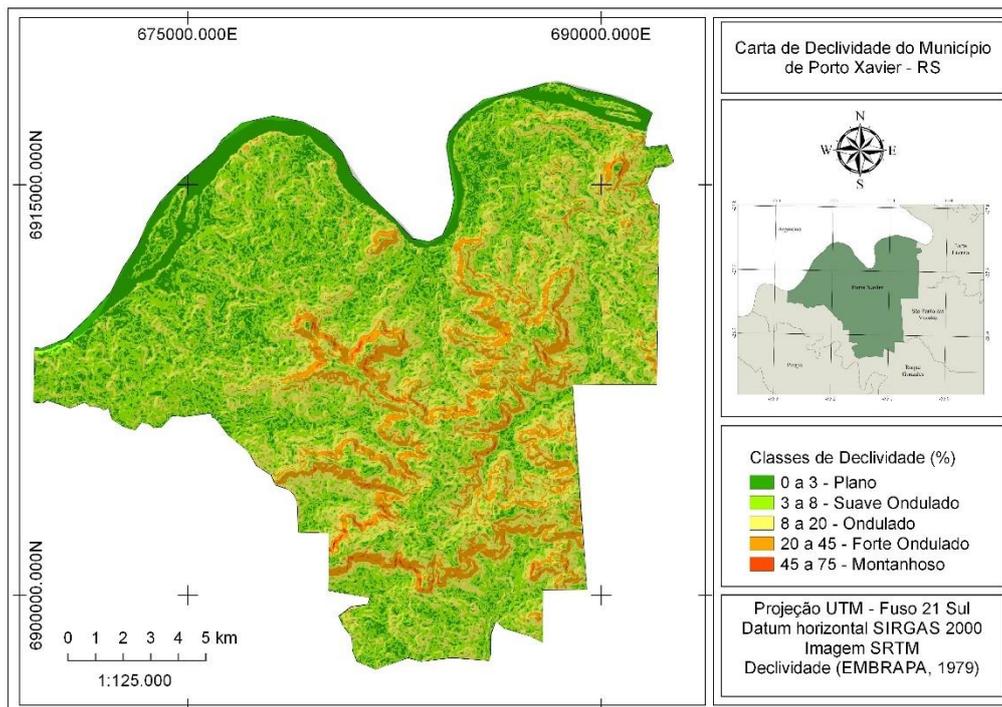


Figura 6. Cartas de declividade do município e da área urbana.

Tabela 2. Classes de declividade, intervalos e áreas no município

Classe de declividade	Declividade (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
Plano	0 a 3	48,2	17,2
Suave ondulado	3 a 8	112,8	40,2
Ondulado	8 a 20	86,3	30,8
Forte ondulado	20 a 45	31,9	11,4
Montanhoso	45 a 75	1,3	0,5

Na área urbana do município (Figura 7), a classe de declividade suave ondulado (verde claro) é predominante, cobrindo 8,2 km<sup>2</sup> (58,2%), seguida das classes plano (verde escuro) com 2,8 km<sup>2</sup> (19,8%), ondulado

(amarelo) com 1,1 km<sup>2</sup> (7,9%). Já a classe de declividade montanhoso (laranja escuro) é pouco aparente, cobre uma área de 0,01 km<sup>2</sup> (0,1%) da área urbana (Tabela 3).

Tabela 3. Classes de declividade, intervalos e áreas na área urbana do município

Classe de declividade	Declividade (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
Plano	0 a 3	2,8	19,8
Suave ondulado	3 a 8	8,2	58,2
Ondulado	8 a 20	2,0	14,0
Forte ondulado	20 a 45	1,1	7,9
Montanhoso	45 a 75	0,01	0,1

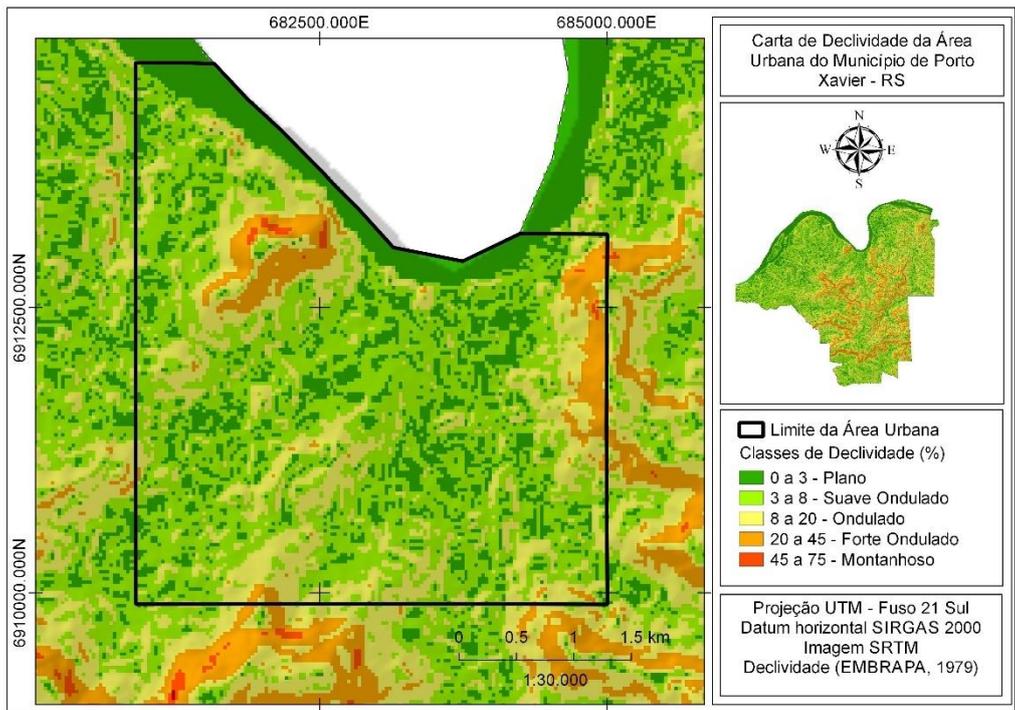


Figura 7. Cartas de declividade do município e da área urbana.

Na área correspondente à área urbana do município, estão identificadas aproximadamente 3,8 km<sup>2</sup> de floresta (27,2%, nativa e plantada); 2,8 km<sup>2</sup> de agricultura (19,9%, principalmente plantações de cana-de-

açúcar); 2,2 km<sup>2</sup> de área urbanizada (15,3%, construções e casas); 0,1 km<sup>2</sup> com presença de água (0,7%, açudes e cursos d'água); e 5,3 km<sup>2</sup> de campo (36,9%, campos e pastagens) (Figura 8).

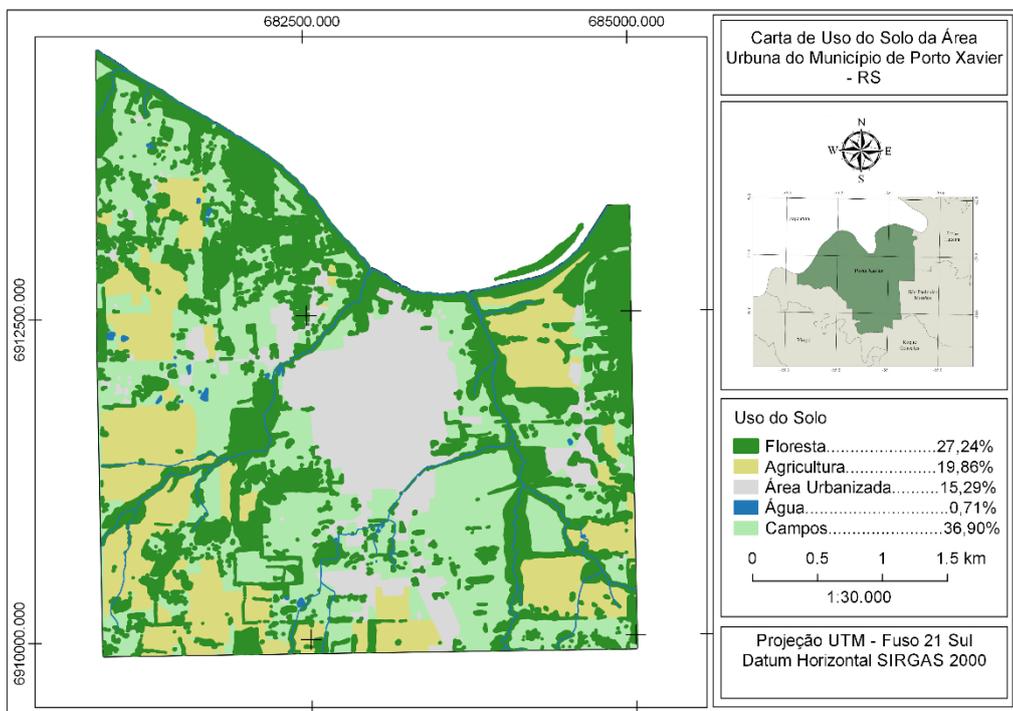


Figura 8. Carta com classes de uso do solo na área urbana do município.

Na Figura 9, em verde estão representadas as porções reais de Áreas de Preservação Permanente (APP), e em vermelho as porções inadequadas. As APPs, com até 30

metros de largura ao longo dos cursos d'água, deveriam apresentar 1,2 km<sup>2</sup> (125,2 ha), porém o valor encontrado é de 0,8 km<sup>2</sup> (77,4 ha,

61,8%) ou seja, 38,2% das áreas se apresentam inadequação ao Código Florestal Brasileiro.

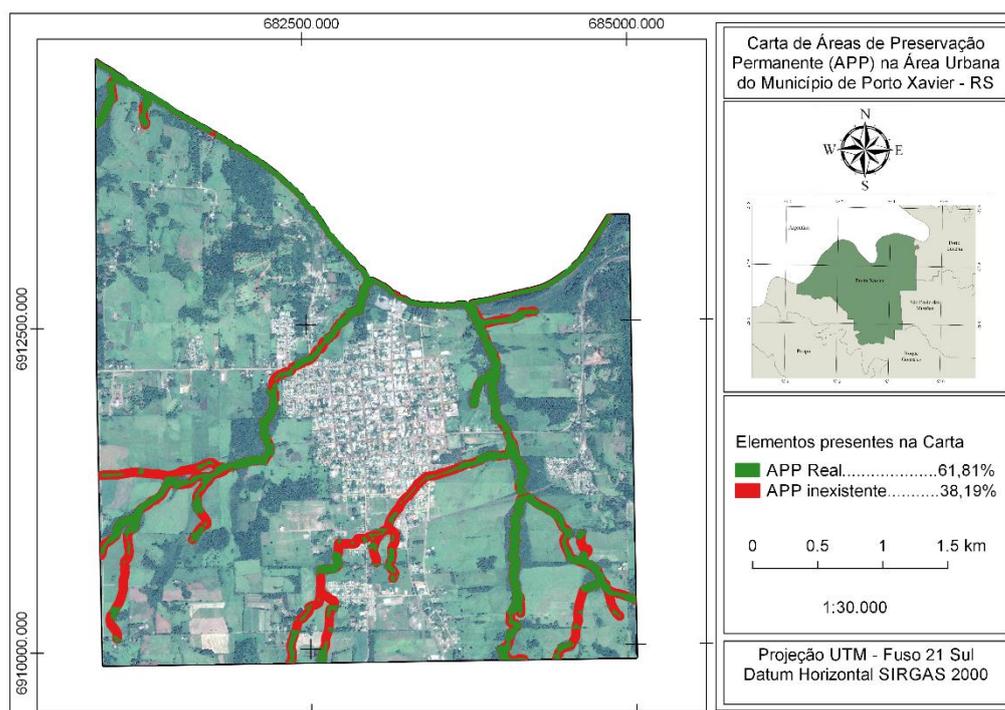


Figura 9. Áreas de preservação permanente por rede de drenagem na área urbana no município.

Com relação às condições de esgotamento sanitário do município de Porto Xavier, o estudo realizado pelo SEBRAE (2016), ano base 2010, mostra que as percentagens de domicílios que ainda possuem fossa rudimentar (ou fossa negra) é de 42,7%; que utilizam rede geral de esgoto é de 34,4%; que possuem fossa séptica 14,9%, que utilizam valas 4,1%; que não possuem banheiro ou sanitário é de 1,4%; que utilizam rios como forma de escoadouro 0,1%, e outras formas de escoadouro 2,5%. De acordo com o IBGE (2010), a percentagem de esgotamento sanitário adequado no município é de apenas 49,3%, o que representa um grande problema sanitário para o município que sofre com inundações recorrentes.

As enchentes e inundações são fenômenos de ocorrência natural nos cursos d'água, principalmente após chuvas de longa duração ou chuvas intensas e rápidas que provocam grandes vazões. São comumente confundidos, por isso é importante ressaltar que, quando os canais de drenagem atingem sua cota máxima, mas ainda conseguem escoar todo o volume de água ocorre a chamada enchente, e quando há deficiência em escoar todo esse

volume de água, e há a transbordamento das águas para as áreas marginais, ocorre a inundação. Já as enxurradas, são resultado de precipitações intensas em curto espaço de tempo com rápido aumento do nível das águas, e o alagamento ocorre quando há o acúmulo d'água nos terrenos marginais por dificuldades de escoamento. Dessa forma, todas as áreas marginais dos canais de drenagem e demais talvegues, são pontos de escoamento pluvial ou fluvial, sujeitas naturalmente a processos erosivos, enchentes e inundações, motivo pelo qual essas planícies de inundação não deveriam ser ocupadas (BOTELHO, 1998).

Em Porto Xavier, os locais identificados como mais propícios ao acontecimento de inundações, são as áreas com relevo plano a suavemente ondulado, com declividades menos acentuadas, próximas ao rio Uruguai, locais com a existência de cursos d'água e solos com baixa infiltração, principalmente devido a urbanização. Na Tabela 4 encontra-se a relação dos 11 eventos de inundação e enxurradas ocorridos no município, no período de 1972 a 2017.

Tabela 4. Relação de eventos ocorridas no município de Porto Xavier -RS, de 1972 a 2017

Data	Fenômeno	Documento	Status	Nível das águas
09/1972	Inundação	Portaria nº 10	Emergência	Sem informação
05/1983	Enxurrada	Portaria nº 104	Emergência	16,60
09/1989	Inundação	Portaria nº 481	Emergência	Sem informação
05/1990	Inundação	ReTec 079/90	Sem Status	12,36
06/1992	Inundação	Portaria nº 307	Calamidade Pública	12,00
07/1994	Enxurrada	Portaria nº 447	Emergência	Sem informação
10/1997	Enxurrada	Portaria nº 76	Emergência	Sem informação
10/2002	Enxurrada	Avadan	Desastre Nível III (Grande)	Sem informação
04/2011	Enxurrada	Avadan	Desastre Nível II (Médio)	Sem informação
06/2014	Inundação	Fide	Emergência	17,65
07/2015	Inundação	Fide	Emergência	11,00

Fonte: Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD), Defesa Civil do Rio Grande do Sul.

Legenda: ReTec = Relatórios Técnicos; Avadan = Avaliações de Risco; Fide = Formulários de Informações dos Desastres.

Em julho de 1983 ocorreu uma das maiores inundações já registradas no município, esse evento foi muito importante na época, motivo pelo qual a Comissão Municipal de Defesa Civil criou um marco, chamado de marco de enchente, posicionado na Rua Marechal Floriano Peixoto, Longitude: -55.15 e Latitude: -27.90, que indica o ponto máximo alcançado pelas águas. Conhecendo no terreno a posição do marco de inundação de 1983 correspondente aos 16,6 m de elevação que as águas alcançaram naquele ano (Figura 10) e com auxílio das cartas hipsométricas e das

curvas de nível de 10 metros plotadas sobre a imagem do *Google Satellite* foi possível identificar o nível normal do rio e a cota altimétrica correspondente ao marco de inundação. A partir daí, supondo que o nível máximo de elevação alcançado pelas inundações nos últimos anos foi de 17,65 metros, o valor de 18 metros foi considerado como o máximo de elevação que as águas podem chegar e esse valor somado ao nível normal do rio, equivale à cota altimétrica de provável inundação, utilizada para delimitação das áreas atingidas.



Figura 10. Marco da enchente ocorrida em 1983, localizado no município de Porto Xavier - RS.

Fonte: Maurício Bratz/Prefeitura Porto Xavier/Divulgação (2014).

De acordo com a interpretação das cartas hipsométricas do município e da área urbana, o nível normal do rio é de aproximadamente 80 metros. Sendo assim, sabendo-se que as águas alcançaram a elevação de 16,6 m acima do nível normal do rio, obteve-se que o marco da inundação de 1983 fica a aproximadamente 97 metros de altitude, e que a maior inundação já ocorrida no município em 40 anos alcançou aproximadamente 98 metros de altitude. Dessa

forma, a cota de máxima e provável inundação que pode ocorrer no município, em situações excepcionais, foi definida como 98 metros. A partir dessa cota de inundação de 98 metros, foi traçado um polígono que representa a abrangência da área de inundação no município (Figura 11), cerca de 4.752,20 ha (16,9% do município). Já a abrangência da inundação na área urbana é de 378,25 ha (26,7% da área urbana) (Figura 12).

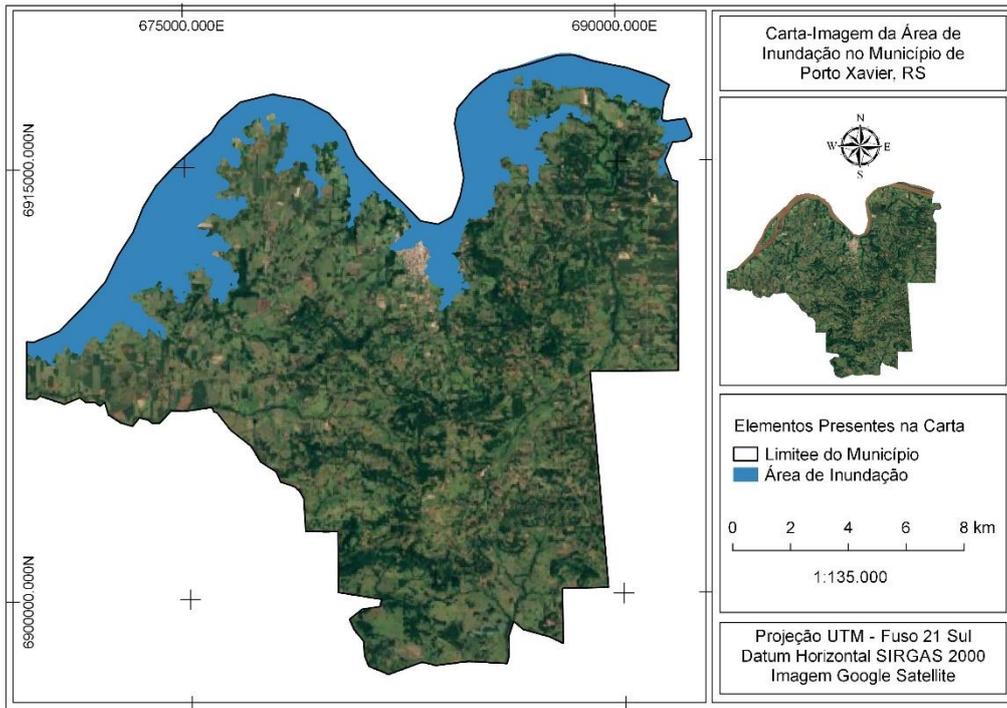


Figura 11. Carta de áreas de inundação no município.

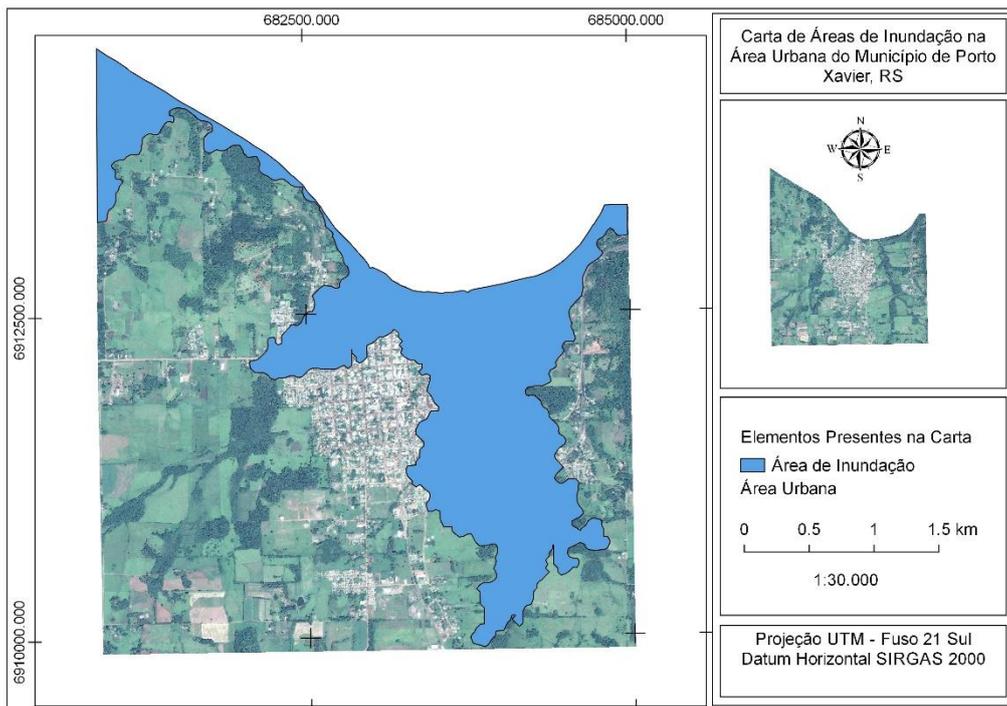


Figura 12. Carta de áreas de inundação na área urbana.

As áreas de risco (laranja) e áreas críticas (vermelho) sujeitas a invasão das águas no perímetro urbano do município de Porto Xavier podem ser visualizadas na Figura 13. As áreas identificadas como de risco de inundações (laranja) são os terrenos marginais dos cursos d'água, as planícies de inundação, sem a ocupação por núcleos habitacionais e ocupam 3,2 km<sup>2</sup> (22,5 %) da área urbana. Já as áreas

consideradas críticas de inundação (vermelho) ocupam 0,6 km<sup>2</sup> (4,2%) da área urbana e correspondem aos terrenos marginais a cursos d'água ocupados por núcleos habitacionais sujeitos ao impacto direto do aumento do nível do rio e consequente invasão das águas, o que compromete a integridade física das pessoas residentes no local, além de deixá-las sujeitas a perdas ambientais, econômicas e materiais.

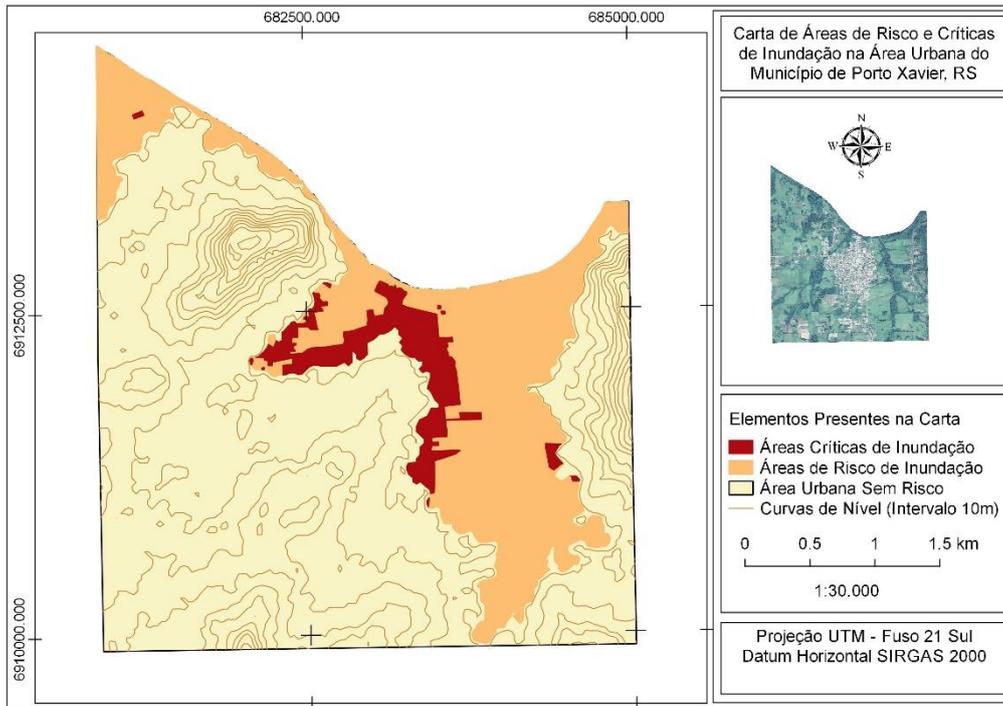


Figura 13. Carta de áreas de risco e críticas de inundação na área urbana.

Observa-se que, o grande volume de precipitação somado ao desmatamento das encostas (APP), a ocupação das planícies de inundação, o assoreamento dos rios pela perda quantitativa do solo, e a diminuição da capacidade de infiltração e retenção de água no solo em áreas impermeabilizadas (áreas edificadas, asfaltadas e cimentadas), são fatores que influenciam na ocorrência de inundações bruscas e suas problemáticas.

O município de Porto Xavier apresenta 27 setores censitário, apresentados na Figura 14 com suas respectivas concentrações

populacionais e a área de inundação correspondente. Tanto as áreas com alta concentração populacional, como as de baixa concentração populacional, podem ser afetadas em uma situação de máxima inundação. Pela análise da Figura 15, observa-se que tanto os residentes com menor poder aquisitivo, quanto os residentes com maior poder aquisitivo, são afetados pelas inundações. Porém, a população com maior poder aquisitivo, possui mais condições para se reerguer após a ocorrência de um desastre.

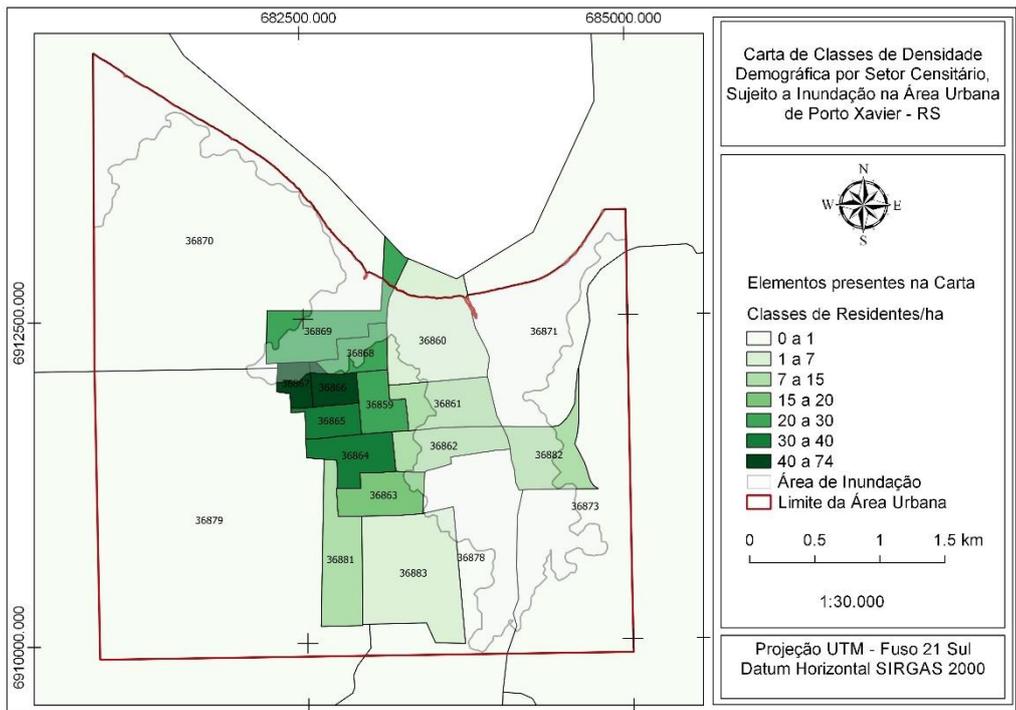


Figura 14. Setores censitários densidades demográficas e áreas sujeitas a inundação.

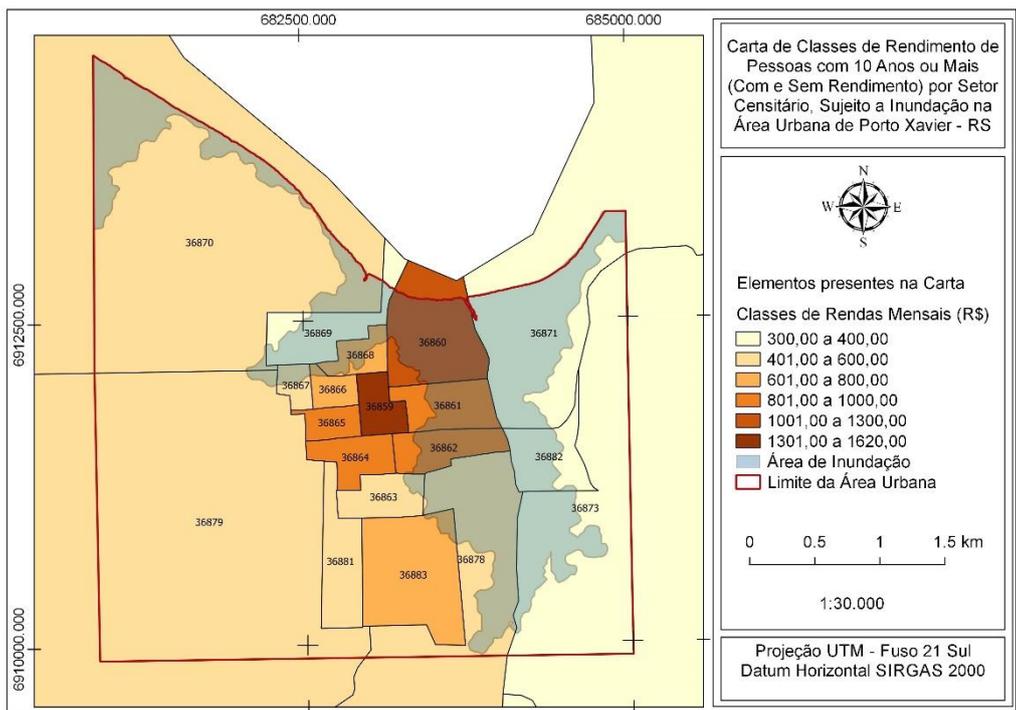


Figura 15. Classes de rendimento da população na área urbana.

Sendo assim, há a necessidade de planejamento da área urbana, e cabe aos órgãos públicos responsáveis pela gestão, a identificação das áreas com potencial para expansão urbana no município de Porto Xavier. Além disso, também é necessário a adoção de medidas preventivas que minimizem as consequências das inundações, visando a diminuição do número de pessoas residentes afetadas.

### Conclusão

Por este trabalho pôde-se concluir que, o grande volume de precipitação e o desmatamento das encostas (APP), a ocupação das planícies de inundação e o assoreamento dos rios foram fatores que influenciaram na ocorrência de inundações bruscas.

A maior parte da população do município reside em proximidade com as margens do Rio

Uruguai, onde se encontraram as menores classes de declividade, plano e suave ondulado, e as menores altitudes, de 78 a 113 m.

O perímetro urbano apresentou cursos hídricos em 0,71% da área, sendo de extrema importância a recomposição das Áreas de Preservação Permanente, com 61,81% da área exigida, apresentando 42,7% dos domicílios com fossa rudimentar podendo ser um problema sanitário nas inundações recorrentes.

Em uma situação de máxima inundação, cerca de 16,9% da área de todo o município e 26,7% da área urbana podem ficarem submersas.

Por meio da metodologia utilizada foi possível gerar informações importantes de interesse de gestores e poderá contribuir para a tomada de decisões no planejamento físico-territorial.

### Referências

BRASIL. Lei de Proteção da Vegetação Nativa. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Brasília, 25 de maio de 2012.

BOTELHO, M. H. C. Águas de chuvas: Engenharia das águas de chuvas nas cidades. 2ª ed. Ed. Edgard Blucher Ltda. São Paulo, 1998. 38p.

CRUZ, L. M.; JUNIOR, J. F. P.; RODRIGUEZ, S. C. Abordagem cartográfica da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Glória- MG. Revista Brasileira de Cartografia, n.62/63, p.505-516, 2010.

FELGUEIRAS, C. A.; CÂMARA, G. Modelagem Numérica de Terreno. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. Introdução à Ciência da Geoinformação. INPE. 2ª ed. rev. e amp. São José dos Campos, 2001. cap.7.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Banco de dados do Censo Demográfico de 2010. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo\_Demografico\_2010/Resultados\_do\_Universo/Agregados\_por\_Setores\_Censitarios/>. Acesso em: 20/11/2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Base de informações do Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo por setor censitário. Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão, Centro de Documentação e Disseminação de Informações. Rio de Janeiro. 2011. 201p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Panorama de Porto Xavier. 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/porto-xavier/panorama>. Acesso em: 20/11/2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Resolução 01/2005 – Altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro. Disponível em:

<[http://geoftp.ibge.gov.br/metodos\\_e\\_outros\\_documentos\\_de\\_referencia/normas/rpr\\_01\\_25f\\_ev2005.pdf](http://geoftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/rpr_01_25f_ev2005.pdf)>. Acesso em: 07/11/2019.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 19/09/2017.

MALLMANN, A. A. Atlas da qualidade ambiental do município de Porto Xavier, RS, por geotecnologias. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2017.

MELLO FILHO, J. A. de. Qualidade de vida na região da Tijuca, RJ, por Geoprocessamento. 288f. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2003.

MELLO FILHO, J. A. de; LIMA, J. P. C. de. Manejo Ambiental: o aprofundamento dos conhecimentos específicos e a visão holística. Floresta e Ambiente, v.7, n.1, p.292-307, 2000.

MORENO, J. A. Clima do Rio Grande do Sul. Transcrições. p.49-83, 1961. Disponível em: <<https://revistas.dee.spgg.rs.gov.br/index.php/boletim-geografico-rs/article/view/3236/3310>>. Acesso em: 07/11/2019.

PORATH, S. L. A paisagem de rios urbanos: a presença do rio Itajaí-Açú na cidade de Blumenau. 150f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004.

PUENTE, M. A. A.; CAMILO, L. C.; AYALA, R. D.; VICENTE, E. F. S.; GUAL, C. G.; LARA, P. L.; MARTÍNEZ, F. L.; DIOS, J. M. L. de; GASCO, R. M.; COSENT, E. M.; MARIGORTA, J. A. M.; OTAL, C. M.; MOR, J. L. P.; GALLEGOS, C. P.; CABRERA, P. R.; CORDOVÉS, M. R. Enciclopédia do Estudante. Ecologia: ecossistemas e desenvolvimento sustentável. Tradução Nelson Caldini Junior. Editora Moderna. São Paulo, 1. ed. 2008. 317p.

RIGHI, E.; ROBAINA, L. E. de S. Enchentes do Rio Uruguai no Rio Grande do Sul entre 1980 e 2005: uma análise geográfica. Sociedade & Natureza, v.22, n.1, p.35-54, 2010.

S2iD. Sistema Integrado de Informações sobre Desastres. Arquivo Digital. Disponível em: <<https://s2id-search.labtrans.ufsc.br/>>. Acesso em: 20/09/2017.

SEBRAE. Perfil das Cidades Gaúchas: Porto Xavier. 2017. Disponível em: <[http://ambientedigital.sebrae-rs.com.br/Download/PerfilCidades/Perfil\\_Cidades\\_Gauchas-porto\\_xavier.pdf](http://ambientedigital.sebrae-rs.com.br/Download/PerfilCidades/Perfil_Cidades_Gauchas-porto_xavier.pdf)>. Acesso em: 20/11/2018.

SILVA, J. X.; SOUZA, M. J. L. Análise ambiental. UFRJ, Rio de Janeiro, 1987. 199p.

USGS. United States Geological Survey. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global. 2015. Disponível em: <<https://lta.cr.usgs.gov/SRTM1Arc>>. Acesso em: 20/11/2018.

## SEÇÃO PREMIADOS CONTECC'2019



**Estratégias da Engenharia,  
da Agronomia e das  
Geociências para o  
Desenvolvimento Nacional**

*Capítulo 10*

**TT ILPF – CONSTRUINDO CAPACIDADES E INOVANDO NO SETOR PRODUTIVO DO TOCANTINS E SUL DO PARÁ**

**Marcia Mascarenhas Grise<sup>1</sup>**  
**Claudio França Barbosa<sup>2</sup>**  
**Pedro Henrique Rezende de Alcântara<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Dra. em Produção Vegetal, Embrapa Pesca e Aquicultura/CNPASA, Palmas-TO, marcia.grise@embrapa.br

<sup>2</sup>Msc. em Ciências Veterinárias, Embrapa Pesca e Aquicultura/CNPASA, Palmas-TO, claudio.barbosa@embrapa.br

<sup>3</sup>Msc. em Zootecnia, Embrapa Pesca e Aquicultura/CNPASA, Palmas-TO, pedro.alcantara@embrapa.br

**Introdução**

O suprimento da demanda crescente por alimentos, fibras e energia sem a abertura de novas áreas e com baixo impacto ambiental é o grande desafio da agropecuária na atualidade. Historicamente, o aumento da produção de alimentos no país se deu com a ocupação de grandes extensões de áreas e, por décadas, o uso do fogo e preparo convencional do solo provocaram degradação de áreas, do solo e da água; e ainda contribuíram sobremaneira para a emissão de gases do efeito estufa.

A pesquisa brasileira e, em especial, a Embrapa, passou a desenvolver tecnologias mais conservacionistas e, nesse sentido, a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) vem sendo trabalhada pela empresa em todo o país como uma inovação para a produção agropecuária sustentável. Este sistema permite a produção concomitante de árvores, grãos, forragem e atividade pecuária em áreas anteriormente de monocultivo, e possibilita a recuperação das áreas de pastagens degradadas via consórcio, sucessão e/ou rotação. O sistema ILPF permite aumento da matéria orgânica e atividade biológica do solo, bem como, redução das emissões de gases do efeito estufa, promovendo a sustentabilidade produtiva das áreas. Além disso, a ILPF propicia ganhos econômicos, estabilidade da renda do produtor na medida em que permite maior oferta de emprego e produção o ano todo (grãos, carne, leite, energia, produtos madeiros e não madeiros oriundos das árvores). Em função de todas estas características técnicas, econômicas e sociais do sistema, a adoção de ILPF promove uma maneira inovadora de produção de alimentos, fibras e energia.

O Estado do Tocantins caracteriza-se pela diversidade de sua produção agrícola, cultivando uma área de mais de 1,3 milhão de hectares (IBGE, 2019), sobressaindo-se a

cultura da soja com mais de 1 milhão de hectares cultivados e produção superior a três milhões de toneladas na safra 2018/2019 (CONAB, 2019) sendo, portanto, o seu principal produto de exportação. O estado apresenta ainda aproximadamente 7,5 milhões ha de pastagens. Contudo, estima-se que, destas, em torno de cinco milhões e quinhentos mil ha encontram-se em algum grau de degradação.

O Brasil assumiu na COP-15 diversos compromissos voluntários que preveem a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEEs). Esses compromissos foram ratificados na Política Nacional sobre Mudanças do Clima (Lei no 12.187/09) e regulamentados pelo Decreto nº 7390/10. No caso específico da agricultura, foi estabelecido o “Plano Setorial para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura”, o que se convencionou chamar de Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono). A ILPF e Sistemas Agroflorestais (SAFs) constituem-se no Programa um do Plano ABC cuja meta é implantar quatro milhões de hectares de ILP e ILPF até 2020 (BRASIL, 2015). Em função dos resultados positivos obtidos em todo o Brasil, foi instituída em 2013, pelo Governo Federal, a Política Nacional de Integração-Lavoura-Pecuária-Floresta (BRASIL, 2013). No acordo de Paris de 2016, foi incluído nas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC), o compromisso de implementar mais cinco Mha, com isso, o governo brasileiro estabeleceu a meta de nove Mha com adoção de ILPF até 2030 (KÄSSMAYER & FRAXE NETO, 2016). No estado do Tocantins o plano tem sido executado sob o acompanhamento do Grupo Gestor Estadual do Plano ABC (GG ABC TO) coordenado da Secretaria Estadual de Agricultura e Pecuária.

Acredita-se que a assistência técnica de qualidade é primordial para a adoção das

tecnologias de agricultura de baixo carbono (ABC), promovendo ganhos técnicos e econômicos para os sistemas de produção preconizados pelo Plano ABC e Política Nacional sobre Mudanças Climáticas. Segundo Pereira et al. (2018) o estímulo à adoção da estratégia de produção depende em grande medida das ações de transferência de tecnologia junto a técnicos e produtores.

A Secretaria Estadual de Agricultura e Pecuária do Tocantins (SEAGRO), o Instituto de Desenvolvimento Rural do Tocantins (Ruraltins), além de outras instituições integrantes do Grupo Gestor ABC TO (GG ABC TO), tem trabalhado em parceria com o MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) e a Embrapa na promoção de diversas tecnologias do ABC, em especial a ILPF. Todavia, o desafio para alcance das metas do Plano ABC Estadual é grande, e ainda não foi alcançado plenamente. Para que haja adoção efetiva da ILPF no estado é necessário que sejam ampliados, de maneira coordenada, os processos de capacitação continuada de técnicos multiplicadores e de difusão de tecnologias em ILPF. Desta forma propicia-se que haja um estímulo à adoção do sistema ILPF por parte dos produtores e disponibilize-se a eles um corpo técnico de ATER (Assistência técnica e extensão rural) público e privada, habilitado em tecnologias de ILPF.

Em 2015, com o objetivo de fortalecer o trabalho de promoção e transferência de sistemas ILPF, a Embrapa Pesca e Aquicultura apoiada pela Rede ILPF (atual Associação Rede ILPF) iniciou no Tocantins os trabalhos do projeto nacional de TT em ILPF. A Associação Rede ILPF, iniciada em 2012, é uma parceria público-privada formada pela Embrapa, a cooperativa Cocamar e as empresas Bradesco, John Deere, Soesp e Syngenta, tendo como objetivo promover a adoção das tecnologias de integração lavoura-pecuária-floresta ILPF por produtores rurais como parte de um esforço visando à intensificação sustentável da agricultura brasileira. A rede aportou recursos aos projetos de transferência de tecnologia em ILPF na proporção de aproximadamente dois para um, o que significa que entre 2015 e 2018 a rede ILPF aportou aproximadamente o dobro

do valor liberado pelo sistema Embrapa de gestão para a execução deste tipo de projeto. Na Embrapa Pesca e Aquicultura a transferência da tecnologia ILPF se dá de três maneiras: i) capacitando técnicos de assistência técnica de empresas públicas (RURALTINS) e privadas (especialmente SEBRAE) nessa tecnologia; ii) orientando a implantação e condução da ILPF em fazendas assistidas pelos parceiros da ATER (as quais passaram a adotar o sistema e se tornaram referência - URTs); e iii) conduzindo uma Unidade de Aprendizagem Tecnológica - UAT, localizada em Palmas, e conduzida diretamente pela equipe do projeto. Esta UAT trata-se de um ambiente de produção real para capacitação de técnicos, produtores, estudantes estagiários e bolsistas. Sua área conta com os recursos necessários para que o público receba teoria a respeito das tecnologias e, ao mesmo tempo, possa visualizar diretamente a aplicação destas.

Em função do exposto, este trabalho tem como objetivo principal transferir tecnologias de sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) à agentes multiplicadores, bem como fomentar a adoção destas por agropecuaristas do Estado do Tocantins através da (i) capacitação de técnicos multiplicadores na tecnologia ILPF; (ii) implementação de uma rede de Unidades de Referência Tecnológica (URT) em ILPF, e (iii) fomentar a adoção das tecnologias em ILPF pelos produtores da região.

## Material e Métodos

As ações de capacitação do projeto TT - ILPF no estado do Tocantins seguiram a metodologia proposta por Benor e Harrison (1977), com adaptações descritas por Domit (2007), conhecida como Treino e Visita (T&V). Esta metodologia prevê a capacitação de técnicos extensionistas denominados Técnicos Multiplicadores I (TM I), os quais uma vez capacitados deverão repassar os conhecimentos adquiridos ao outro grupo de técnicos denominados Técnicos Multiplicadores II (TM II), estes por sua vez devem realizar a transferência de conhecimentos para grupos de produtores. Esta metodologia permite ampliar o impacto das ações de capacitação e a capilaridade de atuação do projeto (Figura 1).

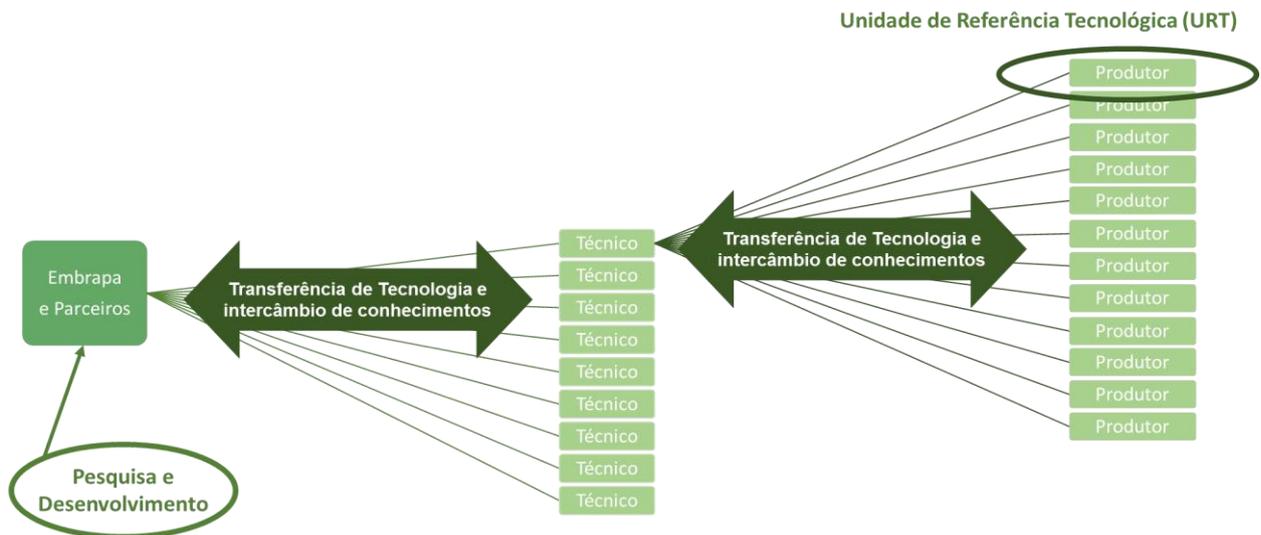


Figura 1. Etapas da metodologia utilizada no Projeto TT ILPF da Embrapa Pesca e Aquicultura.

O processo de aprendizagem deu-se em torno das unidades de referência tecnológica, as URTs, que funcionam como ambientes reais de aprendizagem, onde o técnico colocou em prática os conhecimentos adquiridos. Neste processo foi essencial o compromisso dos técnicos multiplicadores com o resultado. O não

cumprimento das atividades delineadas pelo grupo técnico gestor do projeto é critério de caráter excludente do processo de capacitação. De modo que, o processo foi afunilando e apenas os técnicos que realmente apresentaram interesse e comprometimento, permaneceram (Figura 2).

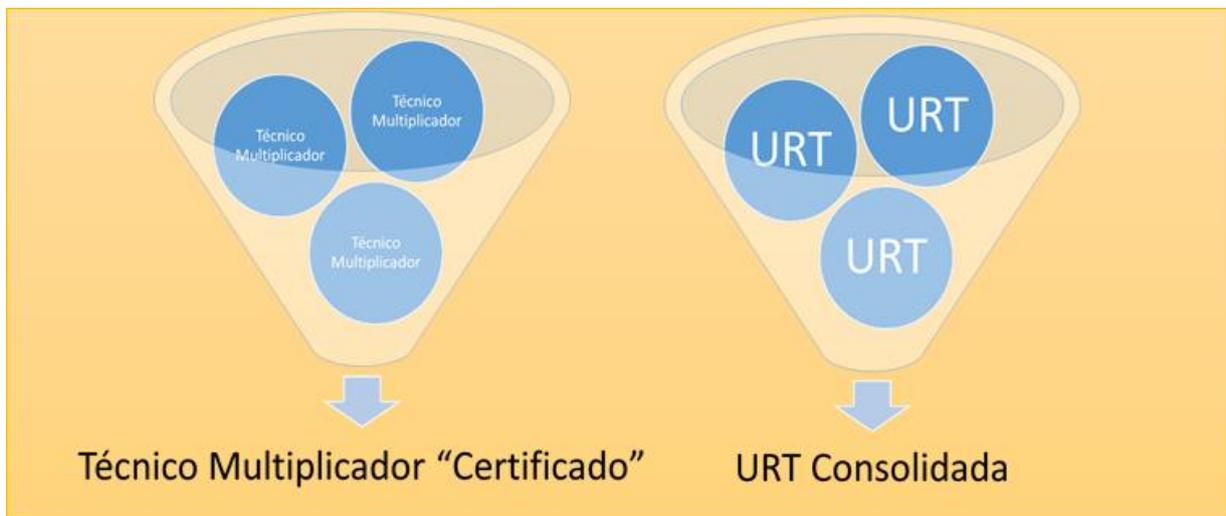


Figura 2. Metodologia utilizada no Projeto TT ILPF da Embrapa Pesca e Aquicultura.

Unidade de referência tecnológica – URT (Figuras 3, 4, 5 e 6) é uma área de intervenção dentro de uma propriedade rural na qual as tecnologias propostas na capacitação continuada foram implantadas visando a capacitação prática dos multiplicadores e

produtores, o estabelecimento de sistemas de produção de referência para determinada região (formando uma rede estadual de URTs) e, ainda, a realização de eventos de difusão das tecnologias ali empregadas.



Figura 3. Unidades de Referência Tecnológica projeto TT ILPF URT Fazenda Araguaiana - Araguatins, TO. Milho com BRS Zuri na época da seca em ILPF.



Figura 4. Unidades de Referência Tecnológica projeto TT ILPF URT Santa Maria - Campos Lindos, TO. Capim Piatã com Eucalipto em ILPF.



Figura 5. Unidades de Referência Tecnológica projeto TT ILPF URT Fazenda Vitória Régia – Santana do Araguaia, PA. Teca em renque triplo com feijão guandu entre renques em ILPF.



Figura 6. Unidades de Referência Tecnológica projeto TT ILPF URT Fazenda Limeira - Cristalândia TO. Capim Mombaça pós-soja na época seca em ILP.

A capacitação teórica constitui-se no ponto inicial das ações de campo do projeto. Ela consistiu em capacitações presenciais modulares semestrais que contemplaram atividades teóricas e práticas e reuniu todos os técnicos em capacitação. Nestas oportunidades, a cada semestre, os técnicos apresentaram o andamento dos trabalhos em suas respectivas URTs. Após o primeiro módulo de capacitação, os técnicos multiplicadores iniciaram o processo de seleção da URT. Neste processo os técnicos contaram com o apoio direto da equipe técnica da Embrapa envolvida no projeto. Após a escolha da propriedade aonde a URT seria implantada iniciou-se a capacitação prática dos técnicos.

Etapas de implantação de uma URT: a implantação de cada uma das URT deu-se inicialmente pela realização, por parte dos técnicos multiplicadores, de um diagnóstico das atividades desenvolvidas na propriedade, utilizando-se de ferramenta disponibilizada pela equipe técnica da Embrapa. Assim foi possível levantar a situação inicial da

propriedade, bem como, dar subsídio à elaboração de um planejamento para o desenvolvimento da área de intervenção, sendo este o próximo passo a ser seguido pelos técnicos. Sendo assim, o diagnóstico subsidiou a elaboração de um planejamento para a adoção e implementação das tecnologias ABC em uma área selecionada dentro da propriedade, chamada área de intervenção, ou URT propriamente dita. Os técnicos multiplicadores elaboraram este planejamento para promoverem o desenvolvimento sustentável (social, ambiental, técnico e econômico) da URT, com o apoio da equipe técnica da Embrapa. Neste planejamento foram delineados os objetivos, metas e ações de desenvolvimento da propriedade a serem alcançados no horizonte do projeto, bem como as intervenções que deveriam ser feitas na área e no manejo. O próximo passo foi o desenvolvimento das ações projetadas nos planejamentos, neste momento os técnicos colocaram em prática os conhecimentos adquiridos nas capacitações teóricas (Figura 7).

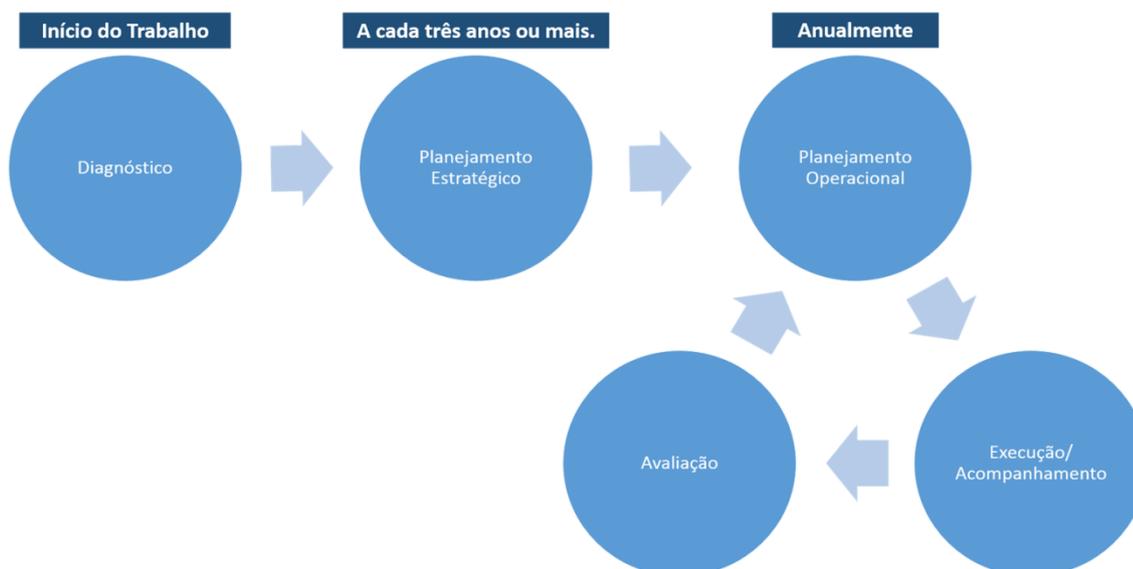


Figura 7. Metodologia utilizada para implementação de uma URT no Projeto TT ILPF da Embrapa Pesca e Aquicultura.

Uma forma de apoio oferecida pelos profissionais da Embrapa aos técnicos multiplicadores foi a tutoria à distância por telefone e principalmente pela formação de um grupo em um aplicativo de mensagens instantâneas. Assim, eventuais problemas identificados nas URTs puderam ser tratados de forma ágil, verificando a melhor solução e contando com a opinião técnica de diversos profissionais. Este processo permitiu a retroalimentação de demandas de PD & I, a partir das dificuldades encontradas pelos os técnicos multiplicadores. A retroalimentação da pesquisa também ocorreu baseada no levantamento sistemático dos entraves enfrentados no dia-a-dia das propriedades, através de relatórios de acompanhamento elaborados pelos técnicos multiplicadores.

A partir da primeira visita técnica às URTs, as atividades prosseguiram de forma concomitante, intercalando os módulos de capacitação presenciais, e visitas técnicas mensais de acompanhamento dos técnicos multiplicadores às URTs. Uma vez a cada semestre, os técnicos multiplicadores fizeram as visitas às URTs acompanhados dos seus supervisores-técnicos da Embrapa. Aquelas URTs que obtiveram sucesso com monitoramento adequado dos indicadores do sistema (técnicos e econômicos) tornaram-se candidatas a receberem as atividades de difusão de tecnologias, tais como dias de campo, palestras, visitas técnicas e intercâmbio de produtores.

Estas atividades de difusão de tecnologias tiveram como objetivo estimular

novas demandas por esta tecnologia nas diferentes regiões do Tocantins. Diante do surgimento das demandas o projeto apresenta capacidade imediata de atendimento, uma vez que nas regiões onde são realizadas as ações de difusão houve, obrigatoriamente, pelo menos um técnico multiplicador capacitado. Desta forma oportunizou-se, o encontro de assistência técnica capacitada com as futuras demandas dos produtores rurais por esta tecnologia.

A Unidade de Aprendizagem Tecnológica - UAT, da Embrapa Pesca, Aquicultura e Sistemas Agrícolas, é uma área cercada de seis ha e está permanentemente localizada no centro agrotecnológico de Palmas. Diferencia-se de uma URT por ser conduzida diretamente pelos pesquisadores, analistas e técnicos da Embrapa Pesca e Aquicultura em área cedida à empresa pelo Estado do Tocantins. Nela estão implementadas diversas tecnologias da Embrapa na área agrícola, animal e produção integrada.

O potencial de difusão tecnológica desta UAT é elevado, pois permite aulas práticas, visitas e realização de dias de campo. Como está implantada no centro agrotecnológico de Palmas, área onde acontece anualmente a Feira Agrotecnológica do Tocantins (Agrotins), a visibilidade desta Unidade é muito grande. Apenas durante este evento, passam anualmente por esta UAT mais de 3000 pessoas. Ademais, esta UAT é utilizada nos módulos presencias de várias capacitações realizadas pelo CNPASA e ainda fica à disposição dos técnicos multiplicadores para que possam utilizá-la em visitas de produtores buscando

gerar demandas de ATER. Atualmente a Unidade de Aprendizagem Tecnológica ILPF - UAT ILPF possui quatro ha, sendo três ha de Integração Pecuária-Floresta e um ha de Integração Lavoura-Pecuária com rotação das culturas como milho, soja, algodão e pastagem.

### Resultados e Discussão

A capacitação continuada dos técnicos deu-se especialmente na prática, onde as salas de aula são as unidades de referência tecnológica – URTs. Como a implementação dos componentes da integração dependem do regime de chuvas, tal capacitação se dá de forma lenta e gradual a cada ano safra. Não é possível, para o agente multiplicador, entender e dominar toda a complexidade do sistema ILPF com a perícia técnica exigida em uma mesma propriedade em apenas dois ou três anos de safra. Em função da demanda intelectual do sistema, faz-se necessário um período maior de capacitação e acompanhamento dos técnicos para que estes dominem totalmente o sistema.

Contudo, mais de 30 técnicos de instituições públicas, especialmente do Ruraltins, órgão de extensão estadual do Tocantins, além daqueles de empresas privadas de assistência técnica foram capacitados entre 2015 e 2019 na tecnologia ILPF por meio do projeto TT de ILPF.

A criação de um grupo em um aplicativo de troca de mensagens instantâneas propiciou um resultado bastante positivo deste projeto: o fortalecimento do grupo técnico de extensionistas. Essa ferramenta permitiu a troca de experiências entre a equipe técnica da Embrapa (equipe de mentoria), os diversos técnicos extensionistas (iniciativa pública e privada) e os produtores que compunham o projeto, em tempo real, sete dias por semana. No grupo de discussão só eram permitidos pelos moderadores da Embrapa assuntos técnicos pertinentes ao tema ILPF, de modo que todos conversavam e travavam longas discussões de elevado nível técnico e algumas vezes até científico. Essa troca resultou no fortalecimento do grupo como um todo, e até mesmo, por assim dizer, na produção de conhecimento. As ações do projeto TT ILPF têm causado um impacto direto e positivo na adoção de boas práticas produtivas em propriedades do Estado do Tocantins, em especial, na recuperação de áreas de pastagens degradadas. Outro aspecto importante a ser levado em conta é que o projeto TT ILPF estimulou e valorizou o serviço

público de extensão rural do Tocantins, catalisando seus resultados, bem como ampliou a relação da Embrapa com empresas privadas de assistência técnica no Tocantins e região. Desde o início do projeto TT ILPF em 2015 passaram pelo projeto mais de 37 técnicos multiplicadores, e 19 URTs foram implementadas.

Nos anos de 2015, 2016, 2017, e 2018 foram realizados 39 eventos, sendo, 23 dias de campo, 10 palestras, cinco capacitações, um seminário, uma oficina, totalizando um público de 5908 participantes.

As propriedades selecionadas pelos técnicos de ATER e monitoradas pela equipe da Embrapa para serem URT, com planejamento e implementação de sistemas de produção baseados em agricultura de baixa emissão de carbono, localizaram-se nos seguintes municípios: (i) do Sul do Pará: Santana do Araguaia, Fazenda Vitória Régia (ILP com soja e pastagem e ILPF com Teca, Feijão Guandu e pastagem); (ii) do Tocantins: Araguatins, Fazenda Araguaiana (ILP com milho e pastagem), Nazaré, Fazenda Pedro Cruz e Fazenda Sutinga (ILP com milho e pastagem), Palmeiras do Tocantins, Fazenda Bom Tempo (ILP com sorgo e pastagem sob uso de biofertilizante), Filadélfia, Fazenda Mara Rosa (SAF), Campos Lindos, Fazenda Santa Maria (IPF com eucalipto e pastagem), Santa Fé do Araguaia, Fazenda União (ILP com soja, milho e sorgo safrinha consorciados com pastagem), Crixás do Tocantins, Fazenda Cria Bem (ILP com arroz e pastagem), Itacajá, Fazenda Krassoski (ILP com sorgo e capim), Palmeirante, Fazenda Torre (ILP com soja e pastagem), Pedro Afonso, Fazenda Brejinho (ILP com soja, milho safrinha consorciado com pastagem), Paraíso do Tocantins, Fazenda Bom Jesus (ILP com milho e pastagem), Pium, Fazenda Santa Tereza (SAF), Fortaleza do Tabocão, Fazenda Campo Largo (ILPF com sorgo, pastagem e eucalipto), Fortaleza do Tabocão, Fazenda Tupã (ILP com soja e pastagem), Novo Jardim, Agropecuária Morro Branco (ILPF com eucalipto, soja e capim), Almas, Fazenda Laço de Ouro (ILPF com sorgo pastagem e eucalipto), Cristalândia, Fazenda Limeira (ILP com soja e pastagem), Araguaçu, Fazenda Mato Grande (ILP com soja e pastagem).

A Rede de URTs que foi formada em municípios de norte ao sul do estado do Tocantins nesse período pode ser observada na Figura 8.



Figura 8. Rede de Multiplicadores e de URTs do Projeto da Embrapa Pesca e Aquicultura/CNPASA. Fonte: SISGATT (2019).

### Conclusão

O projeto TT ILPF da Embrapa Pesca e Aquicultura e Sistemas Agrícolas mostrou-se eficiente, tanto em formar uma rede de técnicos multiplicadores em sistemas ILPF, como em formar uma rede de URTs de ILPF para o estado do Tocantins.

O projeto foi exitoso em promover divulgação da tecnologia na medida em que alcançou em seus quatro anos de desenvolvimento, mais de 3000 pessoas e propiciou várias publicações.

O projeto também atingiu seu objetivo de estimular novas demandas por esta tecnologia, pois produtores e técnicos procuram constantemente a equipe gestora com interesse em implantá-la no Tocantins e estados circunvizinhos.

### Referências

BENOR, D.; HARRISON, J. Q. Agricultural extension. The training and visit system. Washington, D.C. World Bank, 1977. Disponível em:

<http://documents.worldbank.org/curated/en/267901468765344268/pdf/multi0page.pdf>. Acesso em: dezembro 2018.

BRASIL. Lei nº 12.805, de 29 de abril de 2013. Institui a Política Nacional de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta e altera a Lei nº 8.171, de 17 de janeiro de 1991. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 30 abr. 2013. Seção 1, p.1.

BRASIL. Pretendida contribuição nacionalmente determinada para consecução do objetivo da convenção quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima. 2015. Disponível em: [http://www.itamaraty.gov.br/images/ed\\_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf](http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf). Acesso em: agosto de 2018.

CONAB. Boletim Grãos. 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: março de 2018.

DOMIT, L. A. Adaptação do treino e visita para o Brasil. In: DOMIT et al. (org.). Manual de implantação do treino e visita (T&V). Londrina,

Embrapa Soja, p.27-32, 2007. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/470265/manual-de-implantacao-do-treino-e-visita-tv>. Acesso em: dezembro de 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/tocantins>. Acesso em: fevereiro de 2019.

KÄSSMAYER, K.; FRAXE NETO, H. J. A. Entrada em vigor do acordo de Paris: o que muda para o Brasil? Brasília: Núcleo de Estudos e

Pesquisas/CONLEG/Senado. Novembro/2016 (Texto para Discussão nº 215). Disponível em: [www.senado.leg.br/estudos](http://www.senado.leg.br/estudos). Acesso em: novembro de 2016.

PEREIRA E. A.; MANZATTO, C. V.; SKORUPA, L. A.; PENTEADO, M. I. DE O.; OLIVEIRA, P. DE; NOVAES, R. M. L.; SIMÕES, M. G. Análise multicritério para planejamento em sistemas de integração lavoura, pecuária e floresta. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2018. 44p. (Documentos/Embrapa Meio Ambiente, 114).

*Capítulo 11*

**MAPEAMENTO DA COBERTURA VEGETAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO RIO PARAÍBA UTILIZANDO GEOTECNOLOGIAS**

**Hayssa Thyara Silva Barreto<sup>1</sup>**  
**Paulo Roberto Megna Francisco<sup>2</sup>**  
**João Miguel de Moraes Neto<sup>3</sup>**  
**Vera Lúcia Antunes de Lima<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Graduanda em Eng. Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, hayssathyara@hotmail.com

<sup>2</sup>Doutor em Eng. Agrícola UFCG, Campina Grande-PB, paulomegna@gmail.com

<sup>3</sup>Dr. Prof. Titular, UFPB, Campina Grande-PB, j.miguel.moraes@hotmail.com

<sup>4</sup>Dra. Profa. Titular, UFCG, Campina Grande-PB, antuneslima@gmail.com

**Introdução**

A demanda crescente pelos recursos naturais tem agravado a degradação das terras em todo o mundo. A inadequação do uso e do manejo das terras tem degradado os solos, acelerando o impacto das atividades humanas sobre o meio ambiente, particularmente nas regiões semiáridas do Nordeste brasileiro, onde a vulnerabilidade ambiental é acentuada pelos limites restritivos dos atributos dos solos (RIBEIRO et al., 2009).

Na atualidade, com a disponibilidade de tecnologias de sensoriamento remoto e de geoinformática, a realização de inventários tornou-se mais fáceis e de baixo custo, permitindo, com agilidade, auxiliar o monitoramento e a gestão de amplos territórios (NOVO, 2008).

Como observaram Francisco et al. (2012a), várias técnicas já foram estudadas com o objetivo de se determinar quantitativamente e qualitativamente o estado da vegetação a partir de imagens de satélites. Índices de vegetação foram desenvolvidos a fim de reduzir o número de parâmetros presentes nas medidas multiespectrais, e têm sido usados como parâmetros na estimativa da vegetação (HOLBEN et al., 1980; BARET & GUYOT, 1991).

Considerando a possibilidade de utilizar as tecnologias disponíveis e de baixo custo da geoinformática, e de poder contribuir para a realização de diagnósticos da caatinga, este trabalho tem como objetivo classificar e mapear a cobertura vegetal das terras da sub-bacia

hidrográfica do Alto Rio Paraíba, no Estado da Paraíba.

**Material e Métodos**

A área de estudo compreende a bacia Alto Rio Paraíba, com área de 6.717,39 km<sup>2</sup> localizada sobre o Planalto da Borborema ao centro sul do Estado da Paraíba, divisa ao sul com Pernambuco (PARAÍBA, 2006) (Figura 1).

Conforme Francisco (2010), de acordo com a classificação de Köppen, o clima é do tipo Bsh - Semiárido quente, precipitação predominantemente abaixo de 600 mm.ano<sup>-1</sup>, e temperatura mais baixa, devido ao efeito da altitude (400 a 700m) onde as chuvas da região sofrem influência das massas Atlânticas de sudeste e do norte. De acordo com Francisco et al. (2012a) a vegetação representativa da área de estudo é do tipo caatinga hiperxerófila.

Os solos predominantes na área de estudo (Figura 2), conforme PARAÍBA (1978), são os Aluviais Eutróficos que ocorrem ao longo das calhas dos rios; os Brunos Não Cálcicos e os solos Litólicos Eutróficos, distribuídos por toda a área da bacia, como também os Vertisols, com maior ocorrência no terço inferior da bacia, mais próximos ao Açude Epitácio Pessoa, estes reclassificados para o novo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos por Campos e Queiroz (2006) como Solos Neossolos flúvicos Ta eutróficos solódicos, Luvisolos Crômicos órtico típico, Neossolos Litólicos Eutróficos típico, e como Vertissolo Cromado Órtico solódico, respectivamente.

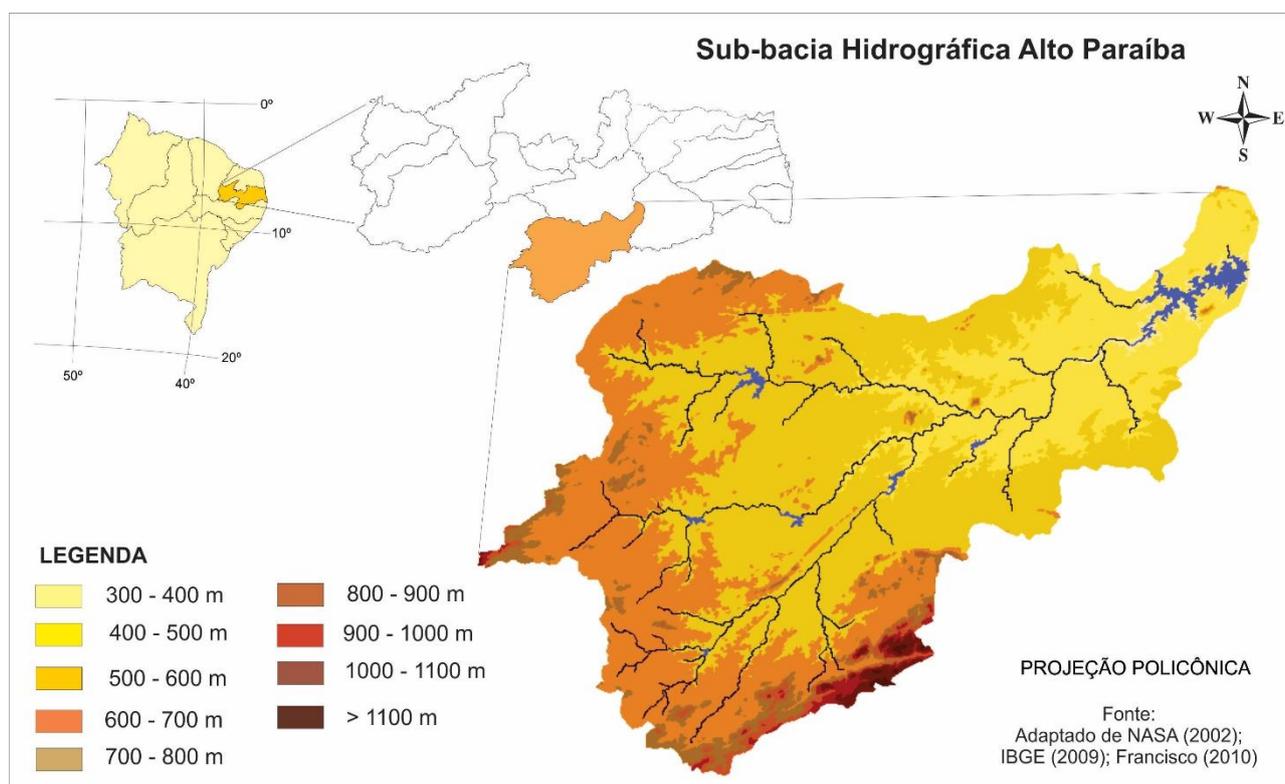


Figura 1. Localização e hipsometria da área de estudo. Fonte: Adaptado de Francisco (2013).

Neste trabalho foram utilizadas imagens do sensor TM LANDSAT 5, órbita 215, pontos 65 e 66, de 12/10/2003, período seco. As imagens foram tratadas utilizando o software ERDAS 8.5, onde foi executada a correção radiométrica e obtidas as imagens de radiância e reflectância, de acordo com Silva et al. (2005a). As etapas seguintes correspondentes ao cômputo do índice de vegetação estão descritas em Silva et al. (2005b). Para a obtenção do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) foi utilizada a Equação 1.

$$IVDN = ( (NIR - RED) / (NIR + RED) ) \quad (Eq.1)$$

Tabela 1. Classes de NDVI

Classes	NDVI
Arbórea Subarbórea densa	> 0,300
Subarbórea Arbustiva densa	0,285 - 0,300
Arbustiva Subarbórea densa	0,265 - 0,285
Arbustiva Subarbórea aberta	0,250 - 0,265
Arbustiva Subarbustiva aberta	0,225 - 0,250
Subarbustiva Arbustiva rala	0,180 - 0,225
Subarbustiva Arbustiva muito rala	0,150 - 0,180
Solo exposto	0 - 0,150
Corpos d'água	< 0

Fonte: Francisco (2013).

Onde: NIR e RED correspondem às reflectâncias das bandas 4 e 3 do TM.

Com o objetivo de mapear a vegetação de caatinga através do NDVI foi criada uma base de dados no SPRING 5.5, na projeção UTM/SAD69, registrando e importando a imagem-índice de vegetação e classificando-a com a utilização do programa LEGAL. Na Linguagem Algébrica para gerar o mapa de cobertura do solo foi definida de acordo com os tipos (Tabela 1), conforme metodologia proposta por Francisco (2013). Após, foi gerado o cálculo das áreas das classes.

## Resultados e Discussão

Pelos dados obtidos (Tabela 2) e pela Figura 2, observa-se que, em condição de maior proteção do solo, as classes de vegetação densa, Arbórea Subarbórea densa, Subarbórea arbustiva densa, Arbustiva subarbórea densa, Arbustiva subarbustiva aberta, Subarbustiva arbustiva rala, Solo exposto, Corpo d'água, Nuvem,

somam 1.687,9 km<sup>2</sup>, um percentual de 36,7% da área da bacia, e ocupam em grande parte, áreas de mais difícil acesso, de solos rasos e declivosos, cabeceiras da bacia onde recebem maior influência orográfica das chuvas.

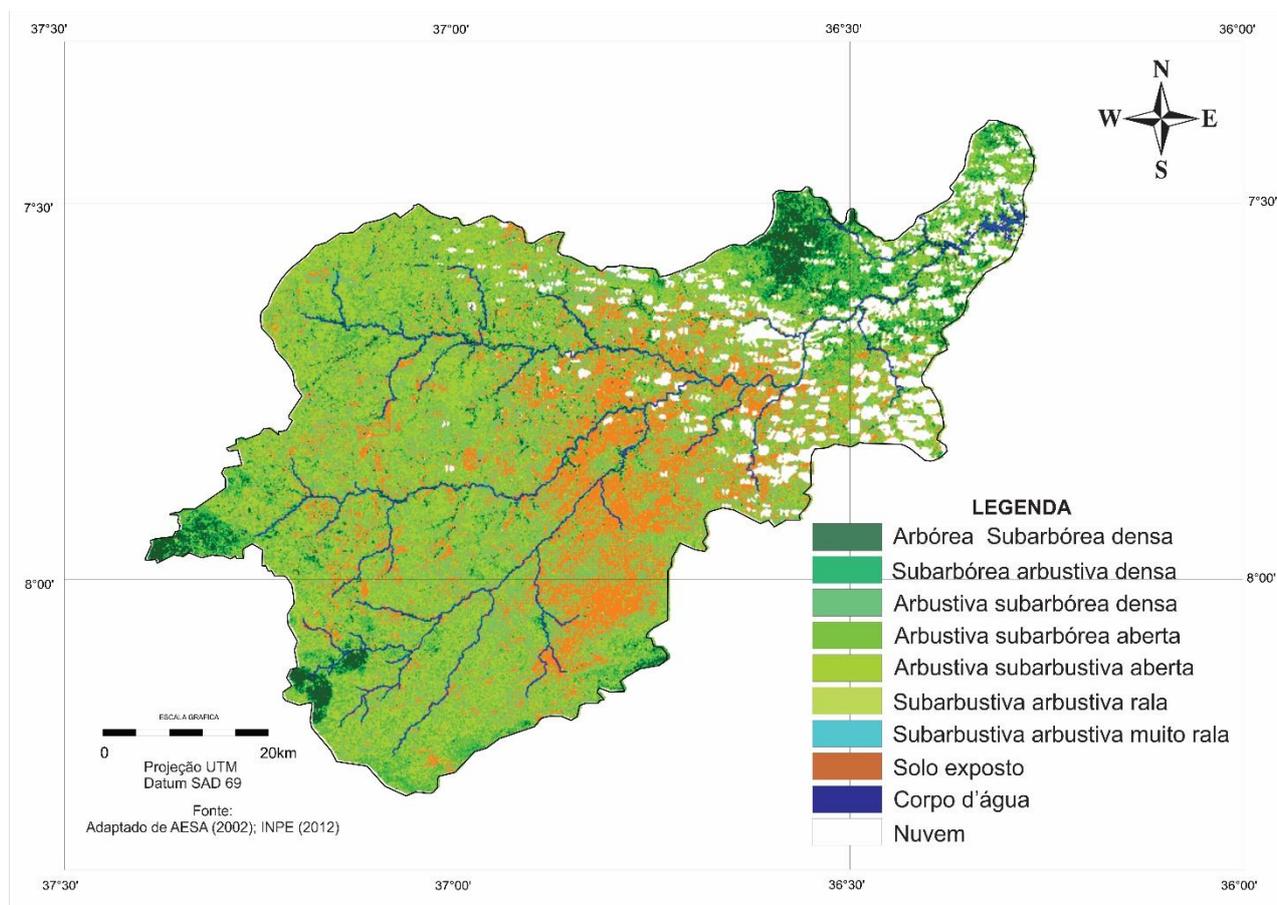


Figura 2. Mapa da cobertura vegetal da bacia. Fonte: Adaptado de AESA (2012); INPE (2012).

Tabela 2. Classes de vegetação da bacia

Classes de vegetação	Área	%
Arbórea subarbórea muito densa	-	-
Arbórea subarbórea densa	337,62	5,03
Subarbórea densa	-	-
Subarbórea arbustiva densa	87,01	1,30
Arbustiva subarbórea densa	149,91	2,23
Arbustiva subarbórea aberta	155,95	2,32
Arbustiva subarbustiva aberta	417,78	6,22
Subarbustiva arbustiva rala	1957,64	29,14
Subarbustiva arbustiva muito rala	1581,48	23,54
Solo exposto	1458,72	21,72
Corpo d'água	23,39	0,35
Nuvem	547,90	8,16
<b>Área total das classes</b>	<b>6.717,39</b>	<b>100,00</b>

É possível afirmar que, as áreas menos protegidas pela vegetação, representadas pelas classes de mapeamento, Subarbustiva arbustiva rala e muito rala, abrangem uma superfície de

3.539,12 km<sup>2</sup>, que corresponde a 52,68% do total da bacia. Estas são áreas que se distribuem, em grande parte, na área central e ao longo da drenagem, e estão relacionadas com a

ocorrência dos Luvisolos Crômicos órtico típico, Neossolos Litólicos Eutróficos típico, e o Vertissolo Cromado Órtico solódico.

A classe solo exposto ocorre em 21,72% (1.458,72 km<sup>2</sup>) da área da bacia, concentrando-se no seu terço inferior e médio, ao longo do rio Paraíba, estando aí associada talvez ao uso agrícola e as características dos Luvisolos por serem mais erodíveis, corroborando com Chaves et al. (2015), e com os Neossolos Litólicos Eutróficos típico, rasos e pedregosos.

Considerando as áreas de vegetação de caatinga aberta, Arbustiva subarbórea aberta, Arbustiva subarbustiva aberta, que correspondem a uma área de 573,73 km<sup>2</sup>, que representa 8,54% da área da bacia; e, como Francisco et al. (2013a), são áreas de pastejo para os animais, e estes padrões de vegetação ocupam posições intermediárias na paisagem, e normalmente ocorrem sobre solos mais rasos, inapropriados para agricultura devido as condições climáticas.

Por esta metodologia não foram identificadas classes de vegetação Arbórea subarbórea muito densa e Subarbórea densa, devido a localização no Bioma Caatinga, e aos seus tipos de solos rasos e pedregosos da área.

A seleção da imagem do período seco corrobora com diversos trabalhos que tem utilizado o período seco para avaliar a biomassa da caatinga, como Francisco et al. (2012b) e como Francisco (2013) que encontraram um alto coeficiente de determinação ( $r^2 = 0,7587$ ), permitindo estabelecer, com boa margem de precisão, estimativas da cobertura vegetal a partir das leituras de NDVI, pois de acordo com Meneses e Netto (2001), é um índice amplamente utilizado e recomendado pela ONU para avaliar a vegetação nos trabalhos sobre desertificação em todo o mundo.

## Conclusão

Com a utilização das técnicas de geoprocessamento, do sensoriamento remoto e desenvolvimento da linguagem algébrica pôde-se chegar a resultados satisfatórios com rapidez e precisão.

A cobertura do solo da área de estudo encontra-se em processo de degradação com 74,4% classificadas como Subarbustiva arbustiva rala e muito rala, distribuída por quase toda a bacia juntamente com a classe solo exposto com a ocorrência dos Luvisolos Crômicos órtico típico, Neossolos Litólicos Eutróficos típico, e o Vertissolo Cromado Órtico solódico.

## Referências

- AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. João Pessoa, 2012. Disponível em: <http://geo.aesa.pb.gov.br>. Acesso em: 9 de julho 2018.
- BARET, F.; GUYOT, G. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote Sensing of Environment*, v.35, p.161-173, 1991.
- CAMPOS, M. C. C.; QUEIROZ, S. B. Reclassificação dos perfis descritos no Levantamento Exploratório - Reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.6, n.1, 2006.
- CHAVES, I. DE B.; FRANCISCO, P. R. M.; LIMA, E. R. V. DE; CHAVES, L. H. G. Modelagem e mapeamento da degradação da caatinga. *Revista Caatinga*, v.28, n.1, p.183-195, 2015.
- FRANCISCO, P. R. M. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. 122f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2010.
- FRANCISCO, P. R. M. Modelo de mapeamento da deterioração do Bioma Caatinga da bacia hidrográfica do Rio Taperoá, PB. 97f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2013.
- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; CHAVES, L. H. G.; LIMA, E. R. V. DE. Detecção de mudança de vegetação de caatinga. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.5, n.6, p.1473-1487, 2012a.
- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; LIMA, E. R. V. DE; BANDEIRA, M. M.; SILVA, B. B. DA. Mapeamento da caatinga com uso de geotecnologia e análise da umidade antecedente em bacia hidrográfica. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.5, n.3, p.676-693, 2012b.
- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; CHAVES, L. H. G.; BRANDÃO, Z. N.; LIMA, E. R. V. DE; SILVA, B. B. DA. Mapeamento da Vulnerabilidade das Terras da Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.6, n.2, p.271-286, 2013a.
- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; CHAVES, L. H. G.; LIMA, E. R. V. DE; SILVA, B. B. DA. Modelo de mapeamento da deterioração das terras semiáridas. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 42, 2013, Fortaleza. Anais...Fortaleza, 2013b.
- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; LIMA, E. R. V. DE; SANTOS, D. Tecnologia da

geoinformação aplicada no mapeamento das terras à mecanização agrícola. *Revista Educação Agrícola Superior*, v.29, n.1, p.45-51, 2014.

HOLBEN, B. N.; TUCKER, C. J.; FAN, C. J. Spectral assessment of soybean leaf area and leaf biomass. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, n.46, p.651-656, 1980.

MENESES, P. R.; NETTO, J. S. M. Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais. Brasília. UnB, Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001.

NOVO, E. M. L. DE M. Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações. 3 ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 2008. 308p.

PARAÍBA. Governo do Estado. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. CEPA-PB. Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba. Relatório ZAP-B-D-2146/1. UFPB-Eletro Consult Ltda., 1978. 448p.

PARAÍBA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência

Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Resumo Executivo e Atlas. Brasília, DF, 2006. 112p.

RIBEIRO, M. R.; SAMPAIO, E. V. S. B.; GALINDO, I. C. L. Os solos e o processo de desertificação no semiárido brasileiro. In: *Tópicos em ciência do solo*, v.6, 497p. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, 2009. 413-449p.

SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens LANDSAT 5-TM. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.13, n.2, p.11-21, 2005a.

SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens LANDSAT 5 - TM. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.20, n.2, p.243-252, 2005b.

## Capítulo 12

### **NECESSIDADE TÉRMICA DE MUDAS DE PIMENTÃO CULTIVADAS EM ESTUFA**

**José Gil dos Anjos Neto<sup>1</sup>**  
**Adriana Ursulino Alves<sup>2</sup>**  
**Edivania de Araújo Lima<sup>3</sup>**  
**Edson de Almeida Cardoso<sup>4</sup>**  
**Arão de Moura Neto<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Ms. Em Agronomia/Fitotecnia, UFPI, Bom Jesus-PI, dgilanj@ufpi.edu.br

<sup>2</sup>Dra. Profa. Adja, UFPI, Bom Jesus-PI, adrianaursulino@ufpi.edu.br

<sup>3</sup>Dra. Profa. Adja, UFPI, Bom Jesus-PI, edivania@ufpi.edu.br

<sup>4</sup>Dr. Em Agronomia/Agricultura Tropical, UFPB, Areia-PB, edsonagro@hotmail.com.br

<sup>5</sup>Graduando em Eng. Agrônômica, UFPI, Bom Jesus-PI, araomoura10@hotmail.com

#### **Introdução**

O pimentão (*Capsicum annuum* var. *annuum* L.), é uma das principais solanáceas cultivadas no Brasil, ocupando posição de destaque, além de estar entre as 10 principais hortaliças cultivadas e comercializadas (NICK & BORÉM, 2016). Em virtude de os plantios serem por mudas, é de fundamental importância a produção de mudas de alta qualidade, uma vez que, é uma das mais importantes etapas do sistema produtivo, pois dela depende o desempenho final das plantas em campo, tanto do ponto de vista nutricional e fitossanitário, quanto do ponto de vista produtivo (COSTA et al., 2011).

A base da horticultura moderna, em uma visão atual, é a produção de mudas de alta qualidade. Isso porque, a partir de uma excelente muda, pode-se obter uma planta adulta vigorosa e conseqüentemente produtiva, seja ela ornamental, frutífera ou olerícola. Do ponto de vista econômico, a produção de mudas de alta qualidade tem motivado os produtores, a adotarem novas técnicas, metodologias e equipamentos, de modo a trazer melhorias para a produção agrícola em geral (FONSÊCA, 2001). Essa produção é totalmente dependente da utilização de insumos. O substrato é um dos insumos que tem se destacado em importância devido à sua ampla utilização na produção de mudas em bandejas (CORREIA et al., 2003). Destacando-se o tomate, pimentão, berinjela e alface, em que 85% de todas as mudas são produzidas neste sistema (MINAMI, 1995; DINIZ et al., 2006; FILGUEIRA, 2008).

A produção de mudas vem configurando uma das etapas mais importantes do sistema produtivo de hortaliças, influenciando diretamente o desempenho nutricional e produtivo das plantas (SILVEIRA et al., 2002). A utilização de recipientes com substratos em

substituição ao uso de solo para formação de mudas, tem proporcionado aumentos substanciais na qualidade das mesmas (SMIDERLE et al., 2001). Portanto, assim como outras hortaliças, o método mais utilizado para a produção de mudas de pimentão é mediante a utilização de bandejas de plástico ou de isopor, com substrato comercial. Um substrato agrícola é todo material, natural ou artificial, colocado em um recipiente, puro ou em mistura, que permite a fixação do sistema radicular e serve para suportar a planta (FERNANDES, 2000), podendo ainda regular a disponibilidade de nutrientes para as raízes (CALVETE & SANTI, 2000).

O clima é um fator decisivo que muito influencia o cultivo de qualquer espécie vegetal. Em algumas regiões, a alta incidência de radiação solar termina por exercer efeitos negativos sobre o rendimento de culturas importantes, como é o caso de olerícolas, e principalmente na fase de produção de mudas; por esta razão, cada vez mais o cultivo em ambiente protegido vem ganhando espaço entre os produtores. O uso do ambiente protegido na Olericultura permite que os fatores fisiológicos tais como fotossíntese, evapotranspiração, respiração, absorção de água e elementos minerais e seu transporte sejam melhor explorados; promovendo aumento da precocidade, produtividade e produção fora de época (SANTANA, 2012). Aliado a estudos que mostram a influência do ambiente e dos elementos climáticos nas culturas, Heldwein (1995) e Scatoloni (1996), relatam que as modificações microclimáticas, provocadas pelo uso de ambientes protegidos acarretam no aumento da produção agrícola. Sendo as variáveis meteorológicas ferramentas importantes para avaliar o desempenho das culturas, como por exemplo, o graus-dia.

Por ser uma cultura termófila, o pimentão necessita de temperaturas superiores a 20°C para acelerar a germinação e emergência (NICK & BORÉM, 2016). A temperatura ideal para germinação está entre 25 a 30°C, e para o desenvolvimento vegetativo entre 25 a 27°C durante o dia, e 20 a 21°C durante a noite (FONTES & NICK, 2019). A temperatura do ar influencia em várias funções vitais da planta, tais como a transpiração, respiração, fotossíntese, germinação, crescimento, floração, frutificação entre outras (SCHAFER, 2009).

O pimentão é considerado uma planta de dias curtos, ou seja, floresce e frutifica em qualquer fotoperíodo, porém, sua produtividade é favorecida em regiões de dias curtos, em decorrência da precocidade da maturação dos frutos (CARVALHO et al., 2011).

Outro fator que afeta a planta no campo é a idade da muda, pois seu desenvolvimento radicular é dependente não só do volume do substrato, mas também do tempo que a raiz fica em contato com esse substrato (SEABRA JÚNIOR et al., 2004).

Um dos índices climáticos que tem sido usado na relação entre temperatura e duração das fases e do ciclo das culturas, é o índice de graus-dias (gd). Este índice indica quantos graus de temperatura ocorreram no decorrer do dia, e que contribuíram efetivamente e de forma positiva para o metabolismo do organismo em questão (PEREIRA et al., 2002).

A teoria dos graus dias pode ser entendida como, a diferença entre a temperatura média do ar no dia e a temperatura basal mínima exigida por uma cultura desde que, a temperatura média seja igual ou inferior a temperatura basal máxima (CARVALHO et al., 2011). O método se baseia na premissa de que, a planta necessita de certa quantidade de energia, representada pela soma térmica acima de uma temperatura base, para completar determinada fase fenológica (CARVALHO et al., 2011).

Segundo Pereira (2002), o conhecimento dos graus-dia acumulados permite prever a duração das fases fenológicas de determinada cultura, possibilitando planejar o plantio para que a colheita ocorra na ocasião de maior retorno econômico.

Portanto, definir um sistema de produção de mudas para espécies olerícolas, como o pimentão, é de fundamental importância para os produtores de hortaliças da região. Pelo exposto, objetiva-se com este trabalho quantificar as exigências térmicas no

crescimento inicial das mudas de pimentão em estufa.

## Material e Métodos

A pesquisa foi conduzida no Setor Experimental do Campus Professora Cinobelina Elvas, da Universidade Federal do Piauí, na cidade de Bom Jesus. O experimento foi realizado em estufa de telado sombrite com 50% de sombreamento no período de junho a agosto de 2014. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado (DIC), com cinco tratamentos e quatro repetições. Cada repetição foi constituída por uma bandeja de 200 células e os tratamentos compostos por cinco períodos de coletas (7, 14, 21, 28 e 35 DAE) com intervalo de sete dias. Em cada repetição foram avaliadas 12 plantas a cada coleta, totalizando 60 plantas para avaliação do crescimento inicial, sendo as demais bordaduras.

As mudas do cultivar Casca Dura Ikeda foram produzidas em bandejas de poliestireno expandido de 200 células, as quais foram preenchidas com substrato comercial Bioplant®, sendo distribuído duas sementes por célula e após a emergência foi realizado a repicagem, deixando-se apenas uma planta por célula. As mudas foram regadas duas vezes ao dia (às 10 e às 16 horas) por meio de um regador portátil com capacidade de 10 litros. Durante a condução do experimento foi realizado o controle de praga (pulgão verde) utilizando o inseticida Malathion® 500 EC e para prevenir deficiência nutricional foi aplicado solução nutritiva de NPK (10-10-10) com auxílio de regador portátil.

Para verificar o crescimento inicial das mudas foram realizadas avaliações a cada sete dias, iniciando-se aos 7 dias após a emergência (DAE) até os 35 dias de idade das mudas, totalizando cinco coletas ao final do experimento. Em cada período de coleta foi avaliado as variáveis agronômicas do índice de clorofila (medido com o auxílio do clorofilômetro) e massa seca da raiz e da parte aérea, medidas em gramas, e após a coleta as raízes e a parte aérea foram colocadas em sacos de papel Kraft para secar por um período de 48 horas em estufa de circulação forçada a uma temperatura de 65°C.

Além das variáveis agronômicas, foi realizado o monitoramento diário (9:00, 14:00 e 16:00 horas local), da temperatura do ar (°C), através de um termo higrômetro. Para a quantificação das exigências térmicas nas diferentes fases da cultura do pimentão, foi

utilizada a teoria dos graus-dias, visto que, as plantas se desenvolvem à medida que acumulam unidades térmicas acima de uma temperatura base, ao passo que, abaixo dessa temperatura o crescimento cessa. Através do acúmulo térmico, também conhecido como graus-dias, têm-se obtido ótimas correlações com a duração do ciclo da cultura, ou com os estádios do desenvolvimento fenológico de uma dada cultivar (OMETTO, 1981). A temperatura base inferior utilizada para a quantificação do graus-dia foi de 16°C para o período germinação (FONTES & NICK, 2019).

A capacidade térmica utilizada para o desenvolvimento das mudas do pimentão foi calculada com base na metodologia de graus-dia (PEREIRA et al., 2002), que consiste na soma térmica diária da cultura, finalizando com o somatório geral, resultando na necessidade térmica dessa dada pelas Equações 1 e 2.

$$GDA = \sum_{i=1}^n (T_i - T_{base}) \quad (\text{Eq.1})$$

$$T_i = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad (\text{Eq.2})$$

Onde, T máx é a temperatura máxima do ar (°C); T mín é a temperatura mínima do ar (°C); T base é a temperatura abaixo da qual as plantas não se desenvolvem (KISH & OGLE, 1980); e n é o número de dias do período considerado.

As variáveis avaliadas foram submetidas à análise de variância pelo teste F, utilizando-se o software Assistat (SILVA & AZEVEDO, 2009). Foram efetuadas análises de regressão polinomial conforme recomendações de Ferreira (2000) para avaliar os períodos e efeitos climáticos do experimento.

### Resultados e Discussão

Na Figura 1 observa-se que, os maiores picos de temperaturas foram registrados às 14 horas, exceto nos dias 13, 16 e 23 de junho e no dia 01 de julho, onde se verifica um registro de mínima temperatura instantânea neste horário, fato que pode ser atribuído a maior cobertura de nebulosidade e maior umidade relativa.

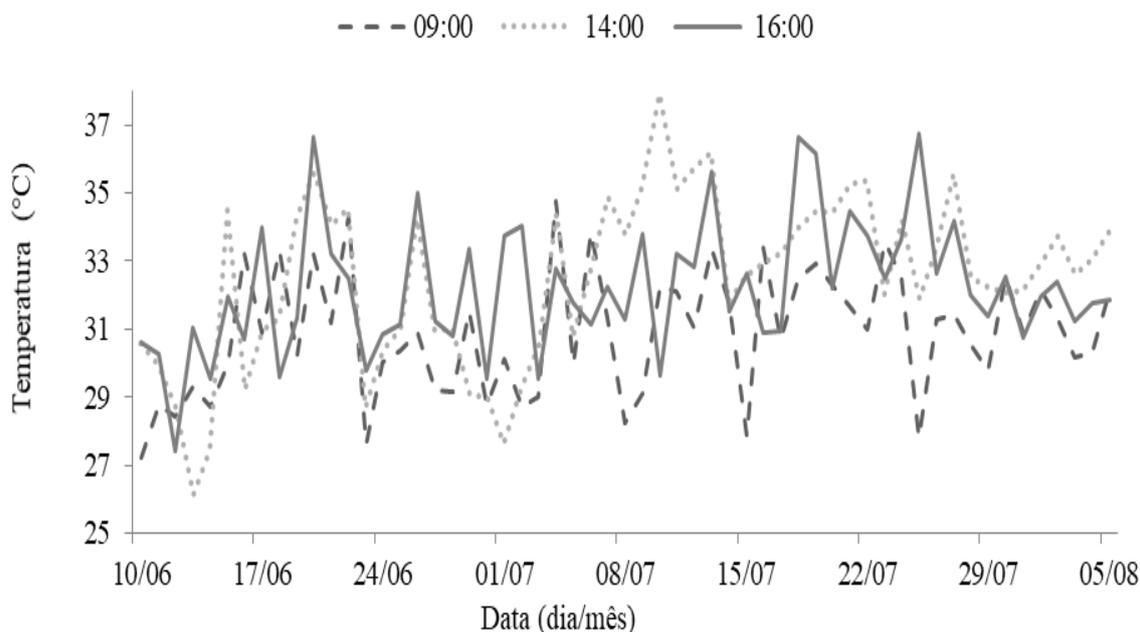


Figura 1. Influência da temperatura em mudas de pimentão em relação à idade.

A maior média é registrada entre os dias 10 e 11 de julho, atingindo um valor de 37°C, temperatura que afeta as plantas de pimentão já que as mesmas têm seu desenvolvimento ideal em, no máximo, 30°C em média. Segundo Nick e Borém (2016) durante a formação de mudas, após a germinação e emergência das plântulas, a manutenção da temperatura entre 25 e 30°C é imprescindível para obtenção de mudas de

qualidade. Além disso, em ambientes mais quentes há limitação significativa da eficiência da assimilação fotossintética do carbono. Sendo que, a temperatura ambiente exerce, também, influência significativa sobre a concentração de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> em torno do sítio ativo da enzima rubisco (TAIZ et al., 2017).

Contudo, mesmo tendo sido registrado temperaturas de até 37°C, no presente estudo

não foi constatado danos visíveis ao desenvolvimento das mudas de pimentão. De um modo geral, segundo a evolução temporal da temperatura durante o período do experimento, os menores valores são encontrados no horário das 9:00 h e os maiores às 14:00 h, seguindo a tendência natural da evolução temporal da radiação solar, visto que, o máximo das temperaturas do ar sempre ocorre com uma defasagem de aproximadamente 2 horas em relação ao máximo da radiação solar (PEREIRA et al., 2002).

Mesmo não ocorrendo danos visíveis nas mudas de pimentão ocasionados pelas altas temperaturas registradas no presente estudo, é de conhecimento científico que os telados e as altas temperaturas afetam a cultura do pimentão. Segundo Silva et al. (2013), a produção de mudas pode ser negativamente influenciada pelo aumento excessivo da temperatura ocasionado por telados. Embora o pimentão seja uma espécie adaptada ao clima tropical inerente à regiões semiáridas, temperaturas superiores à temperatura limite para a cultura do pimentão, podem comprometer as funções vitais da planta em todo o seu ciclo de desenvolvimento, da germinação à frutificação, podendo este ser fator determinante no desempenho das mudas de pimentão (ERICKSON & MARKHART, 2002).

Os graus-dias estão relacionados com a temperatura do ambiente e a taxa de desenvolvimento da cultura permitindo determinar as fases fenológicas da cultura de

interesse, devido a temperatura ser o fator climático que exerce maior influência sobre as culturas olerícolas, sendo importante em todas as fases de desenvolvimento das plantas (FILGUEIRA, 2008). Os valores dos graus-dias variam de acordo com a temperatura influenciando diretamente na fase fenológica da cultura do pimentão, mostrando que sua variação de menor intensidade é onde a cultura teve melhor resposta (Figura 2).

Segundo Filgueira (2008), a diferença de cerca de 6°C entre as temperaturas diurnas e noturnas, beneficiam a cultura. Ainda, segundo o mesmo autor, a baixa temperatura é o fator climático mais limitante sobretudo para a germinação, emergência e o desenvolvimento das mudas.

A temperatura é importante desde a germinação até o fim do ciclo da cultura, uma vez que, tanto o fim bem-sucedido da germinação, quanto o crescimento vegetativo, dependem das mesmas condições ambientais, sendo elas água e oxigênio disponíveis, e a temperatura ser a adequada (TAIZ et al., 2017).

De acordo com os cálculos dos graus-dias, a variação causa grande influência na fenologia das mudas. Comparando com os resultados das variáveis estudadas, a cultura responde significativamente bem quando se observa pequena variação nas temperaturas. Isso confirma o direto relacionamento entre o acúmulo térmico e o desenvolvimento da cultura em estudo.

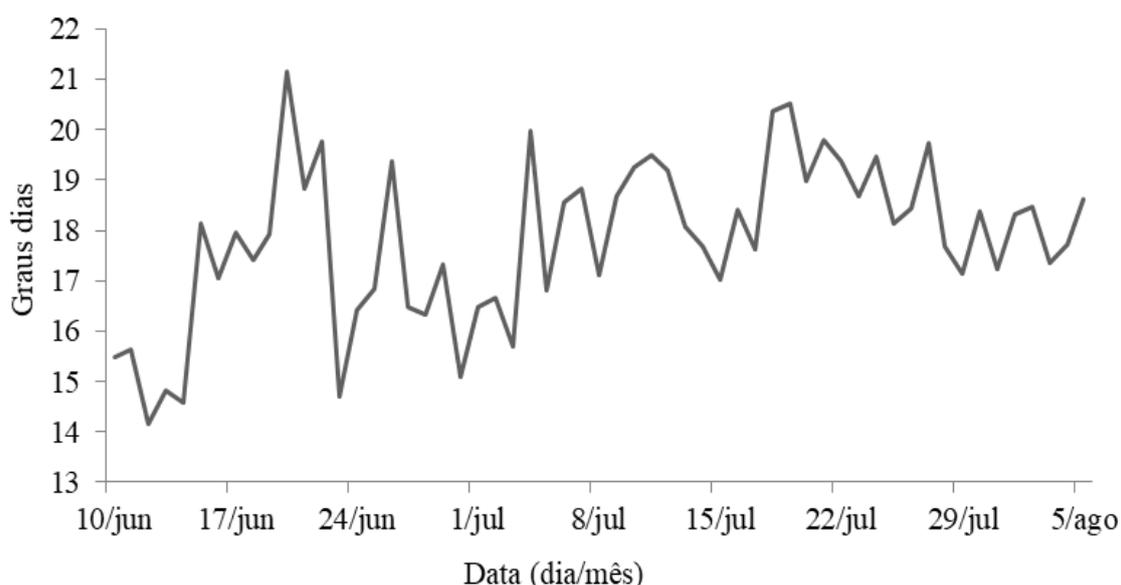


Figura 2. Determinação dos graus dias em mudas de pimentão em relação à idade.

O índice do conteúdo de clorofila (Figura 3) nas folhas reduz com o tempo, provando que,

quanto mais tempo as mudas ficarem na bandeja, menor é o índice de clorofila. Isso

promove menores taxas fotossintéticas e maiores sinais de clorose nas folhas, iniciando a senescência das mudas antes de completar seu ciclo de vida. Portanto, definir o tempo ideal que a muda deve ficar no viveiro para ser transplantada no campo torna-se extremamente importante, pois permite atestar que a mesma se apresenta vigorosa e sem sinais visíveis de deficiência nutricional. Isso porque,

o substrato garante a manutenção mecânica do sistema radicular através de sua fase sólida, assegurar o suprimento ideal de água e nutrientes por meio de sua fase líquida e garantir o suprimento de oxigênio e o transporte de CO<sub>2</sub> entre as raízes e o meio externo através de sua fase gasosa (CAMPANHARO et al., 2006).

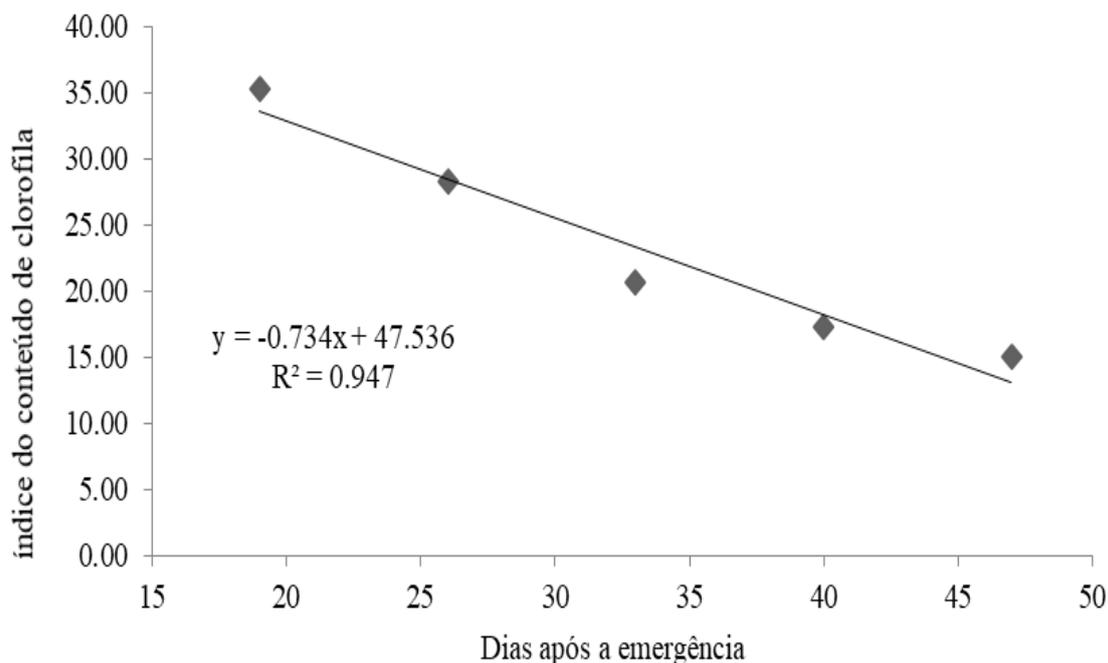


Figura 3. Acompanhamento do índice do conteúdo de clorofila em mudas de pimentão em relação à idade.

Observa-se que o teor de clorofila diminuiu a cada período de avaliação do experimento, começando com a medição de aproximadamente 35 µg cm<sup>-2</sup> e chegando ao último período de avaliação com cerca de 10 µg cm<sup>-2</sup>. Isso mostra que, depois do período ideal de transplante, que no caso foi de 35 dias após a emergência, quanto mais tempo se esperar para realizar o transplante, menor será o teor de clorofila e conseqüentemente a taxa fotossintética sofrerá uma queda brusca, diminuindo seu vigor fazendo com que, as mudas sejam de baixa qualidade para o transplante (Figura 3).

A diminuição do teor de clorofila de acordo com o tempo pode estar relacionada a uma redução, no substrato, nos índices dos principais minerais relacionados à molécula de clorofila, ou seja, aos índices de nitrogênio, magnésio, zinco e ferro (TAIZ et al., 2017). Além disso, se a muda for mantida por muito tempo na bandeja, poderá apresentar, além da deficiência nutricional, deficiência de oxigênio,

podendo ocorrer o envelhecimento das raízes (SEABRA JÚNIOR et al., 2004).

A redução do teor de clorofila também pode ter ocorrido porque a clorofila está sendo constantemente sintetizada e destruída (foto-oxidação) em presença de luz, porém sob intensidades luminosas mais elevadas ocorre maior degradação, e o equilíbrio é estabelecido a uma concentração mais baixa (KRAMER & KOZLOWSKI, 1979). Contudo, mesmo as mudas tendo sido submetidas ao cultivo em ambiente protegido (estufa com telado sombrite de 50%) a região apresenta alta intensidade luminosa durante o período luminoso, corroborando para a redução do teor de clorofila das mudas ao decorrer do tempo.

Outro ponto a se destacar é o efeito do ambiente de cultivo (sombrite). As malhas fotoconversoras são capazes de modificar tanto a quantidade quanto a qualidade da radiação solar transmitida, determinando modificações óticas da dispersão e reflectância da luz (CHAGAS et al., 2013). Essas ações implicam

diretamente em modificações anatômicas, morfológicas e, conseqüentemente, produtivas das plantas (COSTA et al., 2010), o que pode ter contribuído para a redução do teor de clorofila ao longo do período experimental.

Os valores estimados nas Figuras 4 e 5 expressam os valores máximos para a produção de massa seca da raiz e da parte aérea das mudas de pimentão, obtendo a maior concentração de massa seca entre o terceiro e o quarto período chegando ao ponto máximo de produção de massa seca (0,2 e 0,7 g) aos 37 e 38 dias após a emergência, respectivamente. Estes resultados indicam que, quanto mais prolongado for o período de tempo no qual a

muda permanecer na bandeja, maior será sua produção de massa seca. Contudo, após atingir seu máximo potencial produtivo de massa seca irá ocorrendo uma redução gradativa com o passar do tempo de permanência na bandeja. Os resultados observados podem ser explicados pela influência da restrição do sistema radicular no desenvolvimento da parte aérea (PEREIRA & MARTINEZ, 1999), em que, volumes menores de substrato limitam o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular, reduzindo a oxigenação, a disponibilidade de nutrientes, água e outros elementos essenciais para o desenvolvimento das plântulas.

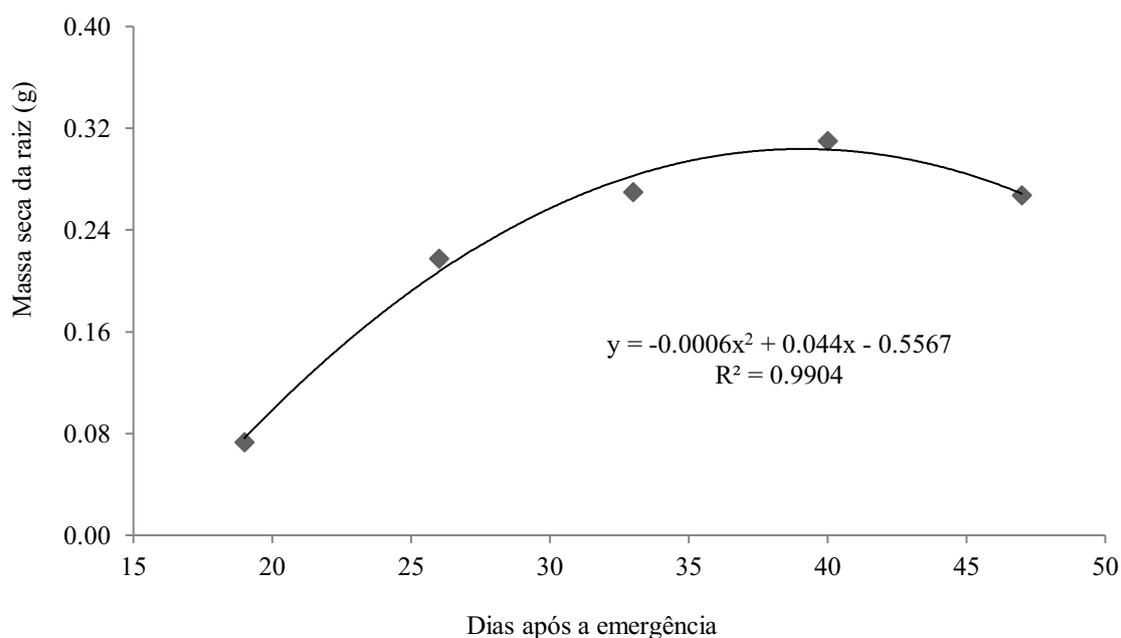


Figura 4. Conteúdo de massa seca da raiz em mudas de pimentão em relação à idade.

Sendo a massa seca uma indicadora de crescimento radicular das mudas, uma vez que, a medida do acúmulo sequencial de matéria orgânica, considerando-se o peso das partes secas da planta é fundamental para a análise de crescimento. Indicando a capacidade do sistema assimilatório das plantas em sintetizar e alocar a matéria orgânica nos diversos órgãos que dependem da fotossíntese, respiração e translocação de fotoassimilados dos sítios de fixação de carbono aos locais de utilização ou de armazenamento, onde há o crescimento e a diferenciação dos órgãos (FONTES et al., 2005).

O acúmulo de massa seca pode variar em decorrência de vários aspectos, como por exemplo a idade das mudas. Magro et al. (2011) em experimento com o híbrido de repolho Kenzan, em Latossolo Vermelho Distrófico

típico, no outono-inverno verificaram que, houve aumento de massa seca da parte aérea de mudas em diferentes períodos após a semeadura, as quais variaram de 1,4 g aos 37 DAS a 9,9 g aos 53 DAS. Entretanto, verificaram que essas variações no acúmulo de massa seca da parte aérea não influenciaram na produção do repolho, onde não foi constatado nenhum efeito significativo da idade das mudas de repolho para todas as características avaliadas na colheita do repolho. Outras pesquisas nesse sentido também obtiveram resultados semelhantes, a exemplo do trabalho de Kano et al. (2008) ao verificarem que, a idade das mudas de brócolis (32, 39, 46 e 53) não teve influência na massa e no diâmetro da "cabeça", assim como no número de folhas. Ressalta-se que as condições experimentais foram semelhantes ao

trabalho de Magro et al. (2011), sendo utilizada a brássica brócolis, em Latossolo Vermelho Distrófico típico, no outono-inverno.

Além do tempo de permanência das mudas na bandeja na estufa influenciar a produção de massa seca, outros fatores afetam essa produção. Monteiro Neto et al. (2016) constataram que, houve uma produção maior de biomassa seca da parte aérea das mudas de pimentão em ambiente externo (céu aberto), do que nos ambientes de telas fotoconversora

vermelha e prateada com 50% de sombreamento, respectivamente, e que, o ambiente externo proporcionou melhores condições de desenvolvimento das mudas. Os autores observaram também que, nos ambientes onde utilizou-se os telados as temperaturas máximas foram maiores que no ambiente externo, sendo essa elevação da temperatura máxima um atenuante para a menor produção de massa seca da parte área das mudas de pimentão.

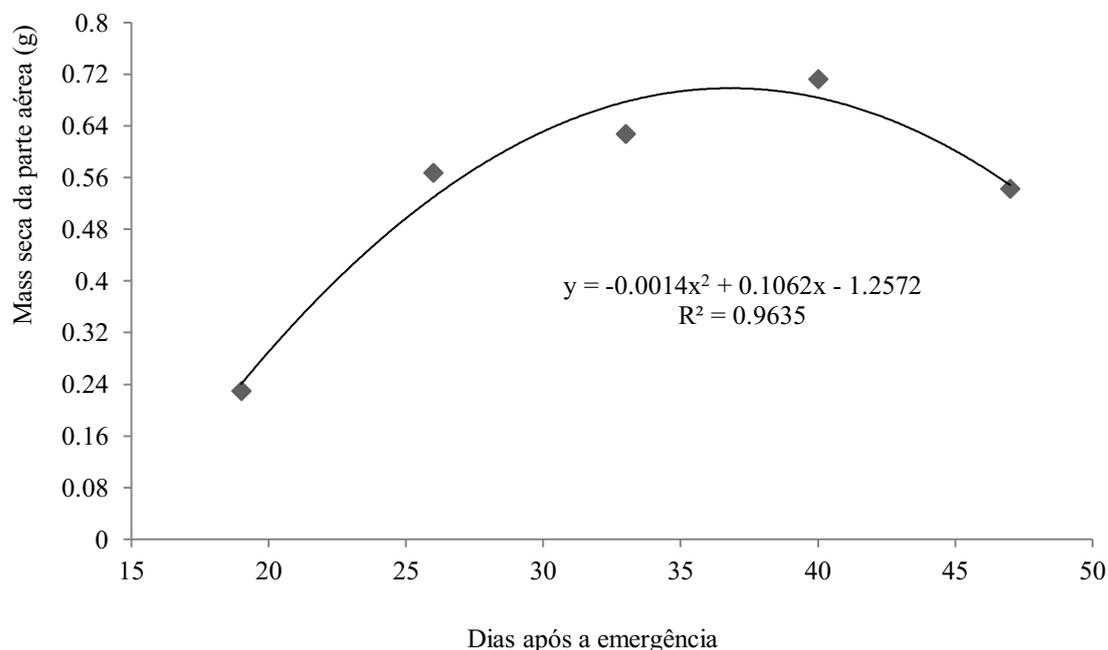


Figura 5. Produção de massa seca da parte aérea em mudas de pimentão em relação à idade das mudas.

### Conclusão

Diante dos resultados obtidos no experimento, pode-se constatar que a temperatura do ar associada ao tempo de produção de mudas influenciou significativamente as variáveis analisadas das mudas de pimentão Casca Dura Ikeda cultivadas em estufa de telado sombrite com 50% de sombreamento.

### Agradecimentos

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de pesquisa ao primeiro autor.

### Referências

BORÉM, A.; NICK, C. Pimentão: do plantio à colheita. Viçosa, MG: UFV, 2016. 204p.  
 CALVETE, E. O.; SANTI, R. Produção de mudas de brócolis em diferentes substratos comerciais.

Horticultura Brasileira, v.18, Suplemento, p.483-484, 2000.

CAMPANHARO, M.; RODRIGUES, J. J. V.; LIRA JÚNIOR, E.; ESPINDOLA, M. C.; COSTA, J. V. T. Características físicas de diferentes substratos para produção de mudas de tomateiro. Revista Caatinga, v.19, n.2, p.140-145, 2006.

CARVALHO, D. F.; OLIVEIRA, A. D. de; PEREIRA, J. B. A. Ajuste de modelos para estimativa do índice de área foliar e acúmulo de biomassa do pimentão em função de graus-dias. Semina: Ciências Agrárias, v.32, n.3, p.971-982, 2011.

CHAGAS, J. H.; PINTO, J. E. B. P.; BERTOLUCCI, S. K. V.; COSTA, A. G.; JESUS, H. C. R. DE; ALVES, P. B. Produção, teor e composição química do óleo essencial de hortelã-japonesa cultivada sob malhas fotoconversoras. Horticultura Brasileira, v.31, n.2, p.297-303, 2013.

CORREIA, D.; ROSA, M. F.; NORÕES, E. R. V.; ARAUJO, F. B. Uso do pó da casca de coco na formulação de substratos para formação de

- mudas enxertadas de cajueiro anão precoce. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.25, n.3, p.557-558, 2003.
- COSTA, E.; DURANTE, L. G. Y.; NAGEL, P. L.; FERREIRA, C. R.; SANTOS, A. Qualidade de mudas de berinjela submetida a diferentes métodos de produção. *Revista Ciência Agronômica*, v.42, n.4, p.1017-1025, 2011.
- COSTA, L. C. B.; PINTO, J. E. B. P.; CASTRO, E. M. DE; ALVES, E.; BERTOLUCCI, S. K. V.; ROSAL, L. F. Effects of coloured shade netting on the vegetative development and leaf structure of *Ocimum selloi*. *Bragantia*, v.69, n.2, p.349-359, 2010.
- DINIZ, K. A.; GUIMARÃES, S. T. M. R.; LUZ, J. M. Q. Húmus como substrato para a produção de mudas de tomate, pimentão e alface. *Bioscience Journal*, v.22, n.3, p.63-70, 2006.
- ERICKSON, A. N.; MARKHART, A. H. Flower developmental stage and organ sensitivity of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) to elevated temperature. *Plant, Cell & Environment*, v.21, n.1, p.123-130, 2002.
- FERNANDES, C. C. J. E. Caracterização física hídrica de substratos utilizados no cultivo de hortaliças.
- FERREIRA, P. V. Estatística experimental aplicada à Agronomia. Maceió: EDUFAL, 2000. 422p.
- FILGUEIRA, F. A. R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3. ed. Viçosa-MG: UFV, 2008. 421p.
- FONSÊCA, T. C. Produção de mudas de hortaliças em substratos de diferentes composições com adição de CO<sub>2</sub> na água de irrigação. 72f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2001.
- FONTES, P. C. R.; DIAS, E. N.; SILVA, D. J. H. Dinâmica do crescimento, distribuição de matéria seca e produção de pimentão em ambiente protegido. *Horticultura Brasileira*, v.23, n.1, p.94-99, 2005.
- FONTES, P. C. R.; NICK, C. Olericultura: teoria e prática. 2.ed. Viçosa, 2019. 632p.
- HELDWEIN, A. B. Efeito da cobertura plástica sobre a temperatura mínima do ar. In: Congresso Brasileiro De Agrometeorologia, 9, 1995, Campina Grande. Anais... Campina Grande, p.304-306. 1995.
- FERNANDES, C. C. J. E. Caracterização física hídrica de substratos utilizados no cultivo de hortaliças. *Horticultura Brasileira*, v.18, Suplemento, p. 471-472, 2000.
- KANO, C.; GODOY, A. R.; HIGUTI, A. R. O.; CASTRO, M. M.; CARDOSO, A. I. I. Produção de couve-brócolo em função do tipo de bandeja e idade das mudas. *Ciência e Agrotecnologia*, v.32, n.1, p.110-114, 2008.
- KISH, A. J.; OGLE, W. L. Improving the heat unit system in predicting maturity date of snap beans. *Hortscience*, v.15, n.2, p.140-141, 1980.
- KRAMER, T.; KOSLOWSKI, T. Physiology of woody plants. New York, Academic Press, 1979. 811p.
- MAGRO, F. O.; SALATA, A. C.; BERTOLINI, E. V.; CARDOSO, A. I. I. Produção de repolho em função da idade das mudas. *Revista Agro@ambiente*, v.5, n.2, p.119-123, 2011.
- MINAMI, K. Produção de mudas de alta qualidade em hortaliças. São Paulo: T. A. Queiroz, 1995. 129p.
- MONTEIRO NETO, J. L. L.; ARAÚJO, W. F.; VILARINHO, L. B. O.; SILVA, E. S.; ARAÚJO, W. B. L.; SAKAZAKI R. T. Produção de mudas de pimentão (*Capsicum annuum* L.) em diferentes ambientes e substratos. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.11, n.4, p.289-297, 2016.
- OMETTO, J. C. Bioclimatologia vegetal. São Paulo: Agronômica Ceres 1981. 440p.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas - Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.
- PEREIRA, P. R. G., MARTINEZ, H. E. P. Produção de mudas para o cultivo de hortaliças em solo e hidroponia. *Informe Agropecuário*, v.20, n.200/201, p.24-31, 1999.
- SANTANA, J. Q. Cultivo de pimentões sob telas fotoseletivas. 60f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solo e Água). Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos. Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2012.
- SCATOLONI, M. E. Estimativa da evapotranspiração da cultura de crisântemo em estufa a partir de elementos meteorológicos. 65f. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia). Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz. Piracicaba, 1996.
- SCHAFER, V. F. Produção de alface na região mesoclimática de Santa Maria, RS. 68f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2009.
- SEABRA JÚNIOR, S.; GADUM, J.; CARDOSO, A. I. I. Produção de pepino em função da idade das mudas produzidas em recipientes com diferentes volumes de substratos. *Horticultura Brasileira*, v.22, n.3, p.610-613, 2004.

SILVA, C. R.; VASCONCELOS, C. S.; SILVA, V. J.; SOUSA, L. B.; SANCHES, M. C. Crescimento de tomateiro com diferentes telas de sombreamento. *Bioscience Journal*, v.29, Suplemento, p.1415-1420, 2013.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Principal components analysis in the software Assistat-statistical attendance. In: *World Congress on Computers in Agriculture*, 7, 2009, Reno-NV-USA. *Anais...* Reno: American Society of Agricultural and Biological Engineers, p.393-396. 2009.

SILVEIRA, E. B.; RODRIGUES, V. J. L. B.; GOMES, A. M. A.; MARIANO, R. L. R.; MESQUITA, J. C. P. Pó de coco como substrato para produção de mudas de tomateiro. *Horticultura Brasileira*, v.20, n.2, p.211-216, 2002.

SMIDERLE, O. J.; SALIBE, A. B.; HAYASHI, A. H.; MINAMI, K. Produção de mudas de alface, pepino e pimentão em substrato combinando areia, solo e Plantmax®. *Horticultura Brasileira*, v.19, n.2, p.253-257, 2001.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal*. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p.

### Capítulo 13

## **MAPEAMENTO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO PARA A BANANA NO MUNICÍPIO DE BARBALHA-CEARÁ**

**Tainara Tâmara Santiago Silva<sup>1</sup>**

**Hugo Orlando Carvalho Guerra<sup>2</sup>**

**Bernardo Barbosa Silva<sup>3</sup>**

**Bruno Gaudêncio de Almeida<sup>4</sup>**

**Cris Lainy Maciel Santos<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Dra. Profa, IFGoiano, Campos Belos, GO, tainara.tamara@ifgoiano.edu.br

<sup>2</sup>Dr. Prof. UFCG, Campina Grande, PB, hugo\_carvalho@hotmail.com

<sup>3</sup>Dr. Prof. UFCG, Campina Grande, PB, bernardo.silva@ufcg.edu.br

<sup>4</sup>Mestrando em Construções Rurais e Ambiente, UFCG, Campina Grande, PB, brunogaudenciocg@hotmail.com

<sup>5</sup>Doutoranda em Irrigação e Drenagem, UFCG, Campina Grande, PB, cris-lainny@gmail.com

### **Introdução**

As técnicas de sensoriamento remoto constituem uma ferramenta muito útil para o estudo e pesquisa dos inúmeros problemas relacionados com os recursos naturais. Em adição a este fato, nas últimas décadas, o emprego de imagens de satélite vem se estabelecendo como um instrumento de fundamental importância nos estudos sobre o balanço de energia e de água, identificação de áreas em processo de degradação, desmatamento de reservas e monitoramento de rebanhos entre outros (ROMÁN et al., 2010).

Os índices de vegetação mais utilizados tem sido o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) e o Índice de Área Foliar (IAF). A simplicidade e a alta sensibilidade à densidade da cobertura vegetal do NDVI tornaram possível o monitoramento da vegetação em escala global (HUETE et al., 2002). O NDVI é um índice indicativo da quantidade de biomassa e clorofila produzido pela planta. Em superfícies vegetadas com elevada taxa de evapotranspiração, esses valores são positivos, e próximo de 1. Entretanto valores próximos de zero indica a ocorrência de um possível estresse ao qual a cultura esteja submetida, podendo ser de natureza física, biótica ou abiótica (RÊGO et al., 2012).

O SAVI é um índice que leva em consideração os efeitos do solo exposto, é considerado uma melhoria do NDVI, com a utilização de uma constante L, que minimiza os efeitos da cor do solo nos seus resultados. Esta constante varia entre 0 a 1, de acordo com a densidade da vegetação, sendo o valor  $L = 1$  adotado para áreas com pouca cobertura vegetal, já áreas com cobertura intermediária é

representada por  $L = 0,5$  e para áreas muito densas, geralmente se utiliza a constante  $L = 0,25$ . Quando o L é igual a 0, o SAVI é idêntico ao NDVI (HUETE et al., 1988).

O Índice de Área Foliar (IAF) é um indicador da biomassa de cada pixel da imagem, constituindo-se, portanto, em um índice biofísico, que é definido pela razão entre a área foliar de toda vegetação por unidade de área utilizada por esta vegetação (ALLEN et al., 2002). O índice de área foliar se utiliza para prever a produção primária fotossintética, evapotranspiração e como ferramenta de referência para o crescimento da cultura. Sob condições naturais, as mudanças nas condições sazonais do IAF podem ser grandes (FERNANDES et al., 1999).

Desse modo, objetiva-se com esse trabalho mapear o NDVI, o SAVI e o IAF numa área produtora de banana-nanica, visando o reconhecimento das potencialidades do ambiente, em diferentes datas do ano de 2016.

### **Material e Métodos**

A área da pesquisa encontra-se na divisa dos municípios de Barbalha e Missão Velha, região sul do Estado do Ceará, com as coordenadas geográficas de  $7^{\circ}33'$ ; de latitude Sul,  $39^{\circ}26'$  de longitude Oeste e elevação de 414 metros em relação ao nível do mar. O clima é do tipo quente e úmido (Aw) segundo classificação de Köppen, e conforme Geiger está associado à temperatura média de  $25,5^{\circ}\text{C}$  e com pluviosidade média anual de 1058mm (CAITANO et al., 2011). O solo local é constituído por Latossolo Vermelho-Distrófico (EMBRAPA, 2013).

O processamento das imagens teve início após a obtenção das mesmas junto ao site

United States Geological Survey – USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>), sendo a mesma excelente fonte de dados para monitoramento dos eventos que ocorrem na superfície (CLAVERIE et al., 2015). Quando adquiridas, elas já se encontravam ortorretificadas, ou seja, imagens cujas coordenadas dos seus milhares de pixels passaram por processo de correção e se aproximam bastante das coordenadas reais da superfície.

A seleção das imagens foi realizada de acordo com a representação das condições de cobertura do solo no período chuvoso e seco, respectivamente, além de apresentarem baixa cobertura de nuvens e excelente qualidade de processamento, para atender os requisitos da pesquisa. As datas utilizadas foram 22 de maio, 10 de agosto e 29 de outubro do ano de 2016.

Para se estimar os diferentes componentes do balanço de energia à superfície foram utilizadas imagens do satélite LANDSAT-8 do sensor OLI/TIRS (*Operational Land Imager/Thermal Infrared Sensor*) e com as respectivas bandas de 2 a 7 e a banda termal 10 dos sensores.

Utilizou-se o software ERDAS® para realizar os processos de empilhamento das bandas e recorte das imagens, seguindo com o processamento das imagens, através da utilização da ferramenta Model Maker, em que se realizou as operações matemáticas para cada etapa. Posteriormente utilizou-se o software Qgis 3.0 para edição e elaboração das cartas temáticas.

A primeira etapa correspondeu ao cálculo da radiância espectral ( $L_b$ ) que representa a energia solar refletida por cada pixel por unidade de área, de tempo, ângulo sólido e de comprimento de onda, medida ao nível do satélite LANDSAT 8 OLI para as bandas 2, 3, 4, 5, 6 e 7, e a banda 10 da termal. Desse modo, a radiância espectral foi determinada com base nos termos aditivo e multiplicativo, também se fez necessário converter os valores quantizados e calibrados do nível de cinza de cada banda em radiância espectral. Assim foram utilizados coeficientes radiométricos referentes à radiância, disponibilizados nos arquivos de metadados das imagens. Para determinar a radiância espectral em cada banda utilizou-se a Equação 1 (CHANDER & MARKHAM, 2003; SILVA et al., 2006).

$$L_b = \text{Add}_{\text{rad},b} + (\text{Mult}_{\text{rad},b} * \text{ND}_b) \quad (\text{Eq.1})$$

Em que,  $\text{Add}_{\text{rad},b}$  é o termo aditivo e  $\text{Mult}_{\text{rad},b}$  o multiplicativo, relativos à radiância, e foram extraídos do metadados de cada imagem do OLI; e  $\text{ND}_b$  é a intensidade de cada pixel e a banda (valor entre 0 e 65.365), que também foram observados à partir das imagens.

Para o cálculo referente a reflectância monocromática planetária ( $\rho_{\lambda i}$ ) foi necessário, novamente, converter os valores quantizados e calibrados do nível de cinza de cada banda do OLI, dessa vez para a refletância. Desse modo, foram utilizados os coeficientes radiométricos referentes à refletância, disponibilizados nos metadados das imagens (CHANDER & MARKHAM, 2003; SILVA et al., 2015). A refletância foi determinada pela Equação 2.

$$r_b = \text{Add}_{\text{ref},b} + (\text{Mult}_{\text{ref},b} * \text{ND}_b) / (\cos Z * d_r) \quad (\text{Eq.2})$$

Em que,  $r_b$  ( $W \text{ m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ ) é a refletância monocromática de cada pixel em cada banda;  $\text{Add}_{\text{ref},b}$  é o termo aditivo e  $\text{Mult}_{\text{ref},b}$  o multiplicativo, relativos à refletância;  $\text{ND}_b$  é a intensidade de cada pixel;  $d_r$  corresponde a distância terra sol e o cosseno de  $Z$  é o ângulo zenital solar.

O NDVI foi obtido através da razão entre a diferença das refletâncias do infravermelho próximo ( $\rho_V$ ) e do vermelho ( $\rho_V$ ), pela soma das mesmas (ALLEN et al., 1998; SILVA et al., 2005; RODRIGUES et al., 2009; ARRAES et al., 2012; CUNHA et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2012; GUSMÃO et al., 2013; BEZERRA et al., 2014; SOUZA, 2014), segundo a Equação 3.

$$\text{NDVI} = (r_{bIV} - r_{bV}) / (r_{bIV} + r_{bV}) \quad (\text{Eq.3})$$

Onde:  $r_{bIV}$  e  $r_{bV}$  correspondem, respectivamente, as bandas 5 e 4 do sensor LANDSAT 8 OLI.

O NDVI é utilizado como indicador sensível a quantidade e a condição da vegetação verde e seus valores podem variar de -1 a +1, e para superfícies com alguma vegetação o NDVI varia de 0 a 1.

O cálculo do índice de vegetação ajustado para os efeitos do solo SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*) corresponde a um índice que busca amenizar os efeitos antecedentes do solo (HUETE, 1988), sendo determinada pela Equação 4 (ALLEN et al., 2002; OLIVEIRA, 2012; SOUZA, 2014).

$$\text{SAVI} = (1 + L) * (r_{bIV} - r_{bV}) / (L + r_{bIV} + r_{bV}) \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde,  $L$  é a constante de ajuste ao solo, que depende do tipo de solo, onde o valor mais utilizado pelos pesquisadores é 0,5 (ALLEN et al., 2002; ACCIOLY et al., 2002; BOEGH et al., 2002). Porém, nesta pesquisa foi utilizado 0,1, conforme estudos mais recentes (ALLEN et al., 2007; SOUZA, 2014).

O índice de área foliar IAF, é definido pela razão entre a área de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação. O IAF é um indicador da biomassa de cada pixel da imagem e o mesmo foi computado pela equação empírica obtida por Allen et al. (2002), Equação 5.

$$IAF = - \{ \ln[(0,69 - SAVI)/0,59] \} / 0,91 \quad (\text{Eq. 5})$$

### Resultados e Discussão

Observa-se na Figura 1, a carta temática do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), no município de Barbalha - CE para os dias 22 de maio (A), 10 de agosto (B) e 29 de outubro (C) do ano de 2016. De acordo com a Figura, as áreas cultivadas com banana apresentam valores de NDVI de aproximadamente 0,833, entre 0,623 e 0,757, e 0,755, respectivamente para as datas de 22 de maio, 10 de agosto e 29 de outubro de 2016,

mostrando a existência de uma área vegetada, como verificado *in situ* ao avaliar as características biofísicas da cultura. Os resultados encontrados no presente estudo corroboram com Allen et al. (2010), que indicam que, o NDVI é diretamente relacionado com a capacidade fotossintética da planta e influenciada negativamente pelo déficit hídrico.

Os maiores valores de NDVI encontrados variam entre 0,755 a 0,833, possivelmente para áreas densamente vegetadas. Os menores valores para este índice estão entre 0,211 e 0,226, seguramente para áreas menos vegetadas o com populações mais novas.

As variações dos valores de NDVI estão relacionadas com o tempo de implantação do bananal, haja vista que, podem ser encontradas áreas de cultivo com culturas implantadas em diferentes anos, corroborando com Teixeira et al. (2014), ao explicarem, que a variabilidade dos valores de NDVI em cultivos perenes pode estar diretamente relacionado com a dinâmica da produção e colheita.

É pouco provável que os baixos valores de NDVI encontrados, sejam devido ao estresse hídrico das plantas de bananeira, dado que a cultura estava sendo irrigada.

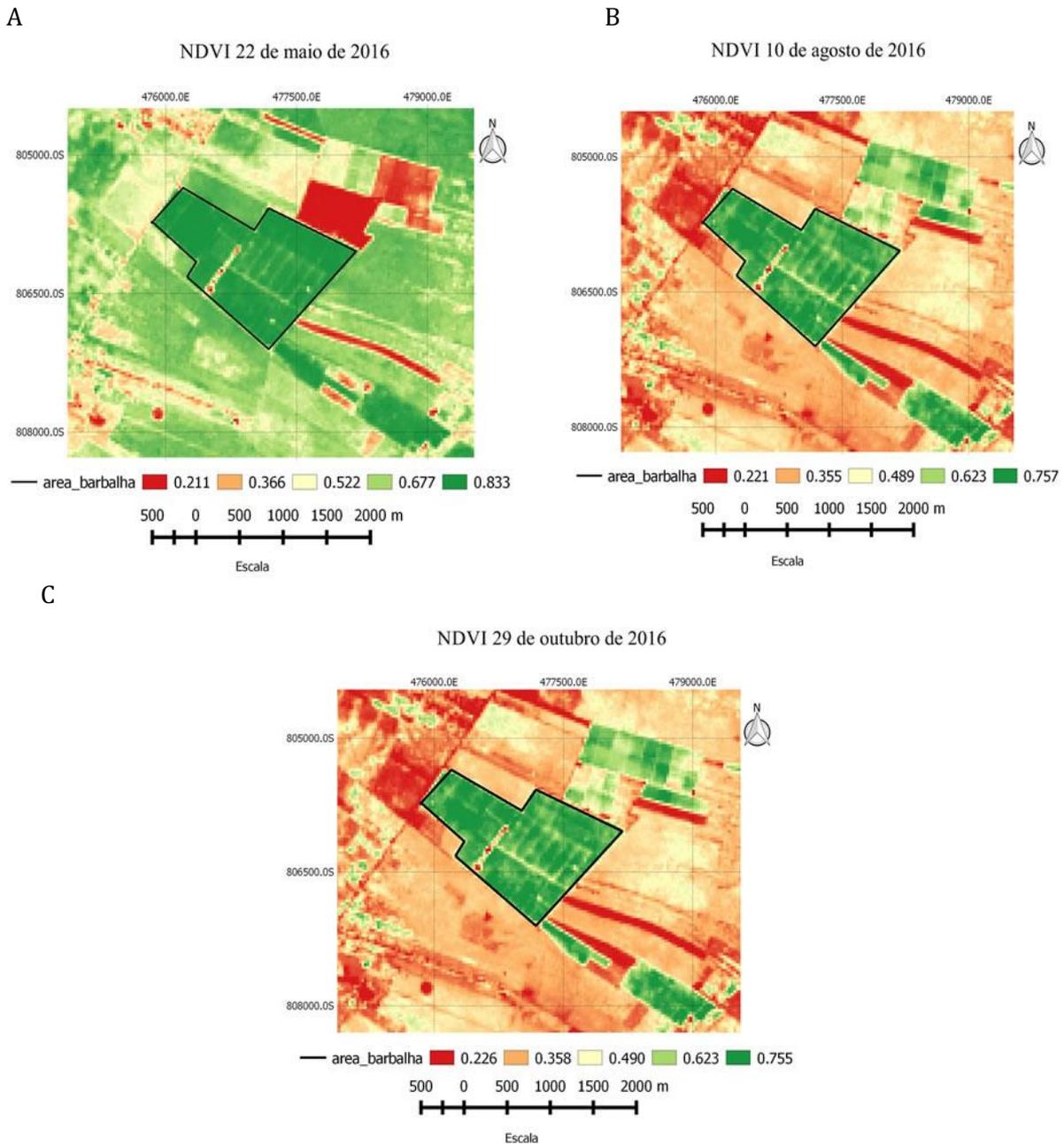


Figura 1. Carta temática do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), no município de Barbalha – CE, 22 de maio (A), 10 de agosto (B) e 29 de outubro (C) do ano de 2016.

A carta temática do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) no município de Barbalha – CE dos dias 22 de maio (A), 10 de agosto (B) e 29 de outubro (C) do ano de 2016, pode ser observada na Figura 2.

Os maiores valores do SAVI apresentam-se em áreas com uma vegetação mais densa (verde). Os valores foram de aproximadamente 0,770; 0,690 e 0,685, para os dias 22 de maio, 10 de agosto e 29 de outubro do ano de 2016, respectivamente.

Analisando os valores encontrados nas imagens nos diferentes dias do ano de 2016, nota-se que o índice de vegetação ajustado ao solo apresenta valores mínimos entre 0,18 e 0,20 nas áreas da cena. Resultados semelhantes foram encontrados em áreas com vegetação menos densa ou com solo exposto que tendem a apresentar valores de refletância variando entre 0,16 e 0,23 com o SAVI em períodos com maior déficit hídrico no decorrer do ano (BORATTO & GOMIDE, 2013).

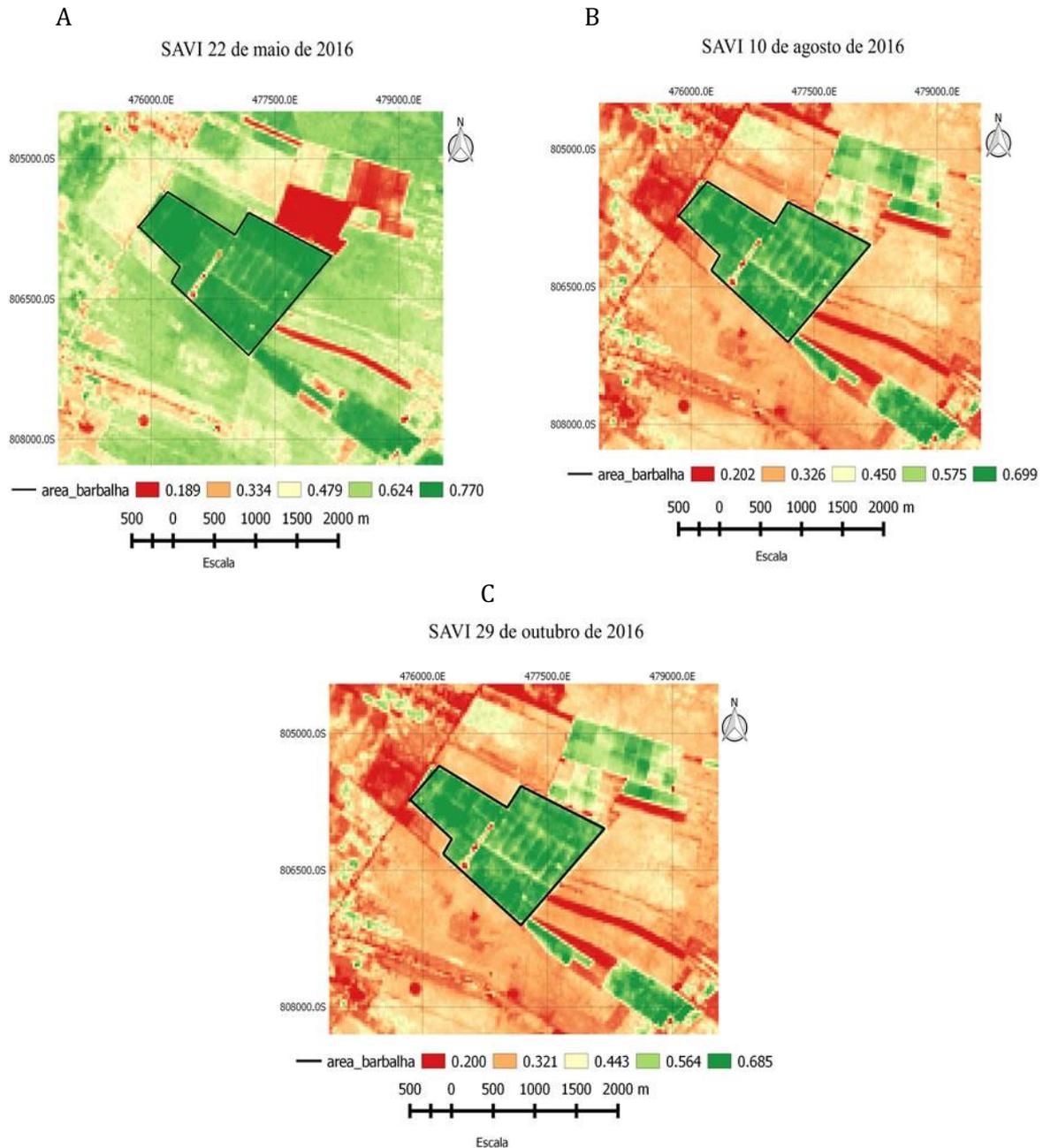


Figura 2. Carta temática do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) no município de Barbalha – CE: 22 de maio (A), 10 de agosto (B) e 29 de outubro (C) do ano de 2016.

Na Figura 3 tem-se a carta temática do Índice de Área Foliar (IAF,  $m^{-2} m^{-2}$ ) no município de Barbalha – CE para as datas de 22 de maio (A), 10 de agosto (B) e 29 de outubro (C) do ano de 2016.

Na área cultivada com banana os maiores valores de IAF apresentam-se em tonalidades do verde ao alaranjado, justamente nas áreas com banana irrigada estudadas.

Os maiores valores de IAF estão em tonalidades do verde ao amarelo, nas áreas com banana irrigada. Destaca-se que o índice de área foliar da área de banana em 22 de maio de 2016 é de aproximadamente  $6,0 m^{-2} m^{-2}$ , já na mesma

área em 10 de agosto de  $3,1 a 4,5 m^{-2} m^{-2}$  e em 29 de outubro entre  $2,79 e 4,09 m^{-2} m^{-2}$ .

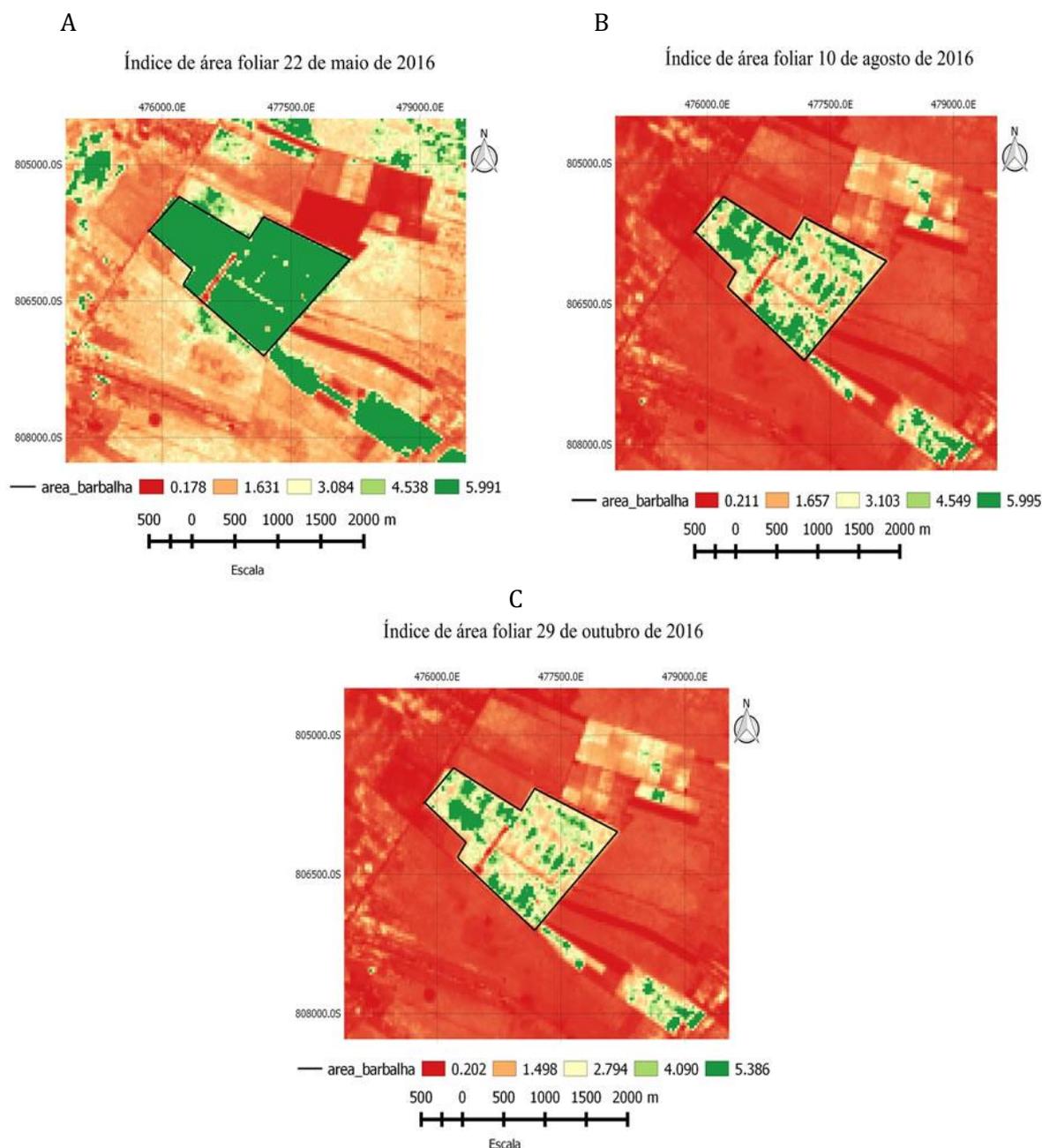


Figura 3. Carta temática do Índice de Área Foliar (IAF) no município de Barbalha – CE: 22 de maio (A), 10 de agosto (B) e 29 de outubro (C) do ano de 2016.

Os menores índices são observados nos pixels mais claros, do amarelo ao verde claro nas datas de 10 de agosto e 29 de outubro, retratando áreas com pouca cobertura vegetal. Já os maiores índices de área foliar são visualizados em maio por terem uma cobertura vegetal maior. A razão desta diferença é que, o mês de maio é o mês mais frio, e o período

chuvoso anterior pode ter deixado boas condições de umidade no solo. No período climaticamente mais quente e seco (outubro) as entrelinhas secaram devido à irrigação ser localizada restando como cobertura apenas a área foliar das bananas.

Oliveira (2012) observou resultados médios instantâneos de IAF entre 0,40 a 2,47 m<sup>-2</sup> m<sup>-2</sup>. Souza (2014) em análise para os distintos usos e ocupações do solo observaram valores que variaram entre 0,1 a 1,7 m<sup>-2</sup> m<sup>-2</sup>.

### Conclusão

As imagens analisadas apresentam uma variação considerável dos índices de vegetação, provavelmente relacionados ao tempo de implantação do bananal.

### Agradecimentos

Ao CNPq/Fapesq pela concessão de bolsa de pesquisa ao primeiro autor.

### Referências

ACCIOLY, L. J. D. O.; PACHECO, A.; COSTA, T. C.; LOPES, O. F.; OLIVEIRA, M. A. Relações empíricas entre a estrutura da vegetação e dados do sensor TM/LANDSAT. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.3, p.492-498, 2002.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO, Irrigation and drainage, paper 56. Rome - ITA, 1998, 318p.

ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Satellite-Based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) - Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v.133, n.4, p.380-394, 2007.

ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; BASTIAANSEN, W. G. M. SEBAL Surface Energy Balance Algorithms for Land, Advance Training and User's Manual: Idaho: University of Idaho, 2002. p.97p.

ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; KJAERGAARD, J. H. Mapping evapotranspiration at high resolution, application manual for Landsat satellite imagery. Version 2.0.7. Idaho: University of Idaho, 2010, p.248p.

ARRAES, F. D. D.; ANDRADE, E. M.; SILVA, B. B. Dinâmica do balanço de energia sobre o açude Orós e suas adjacências. *Revista Caatinga*, v.25, n.1, p.119-127, 2012.

BEZERRA, J. M.; MOURA, G. B. A.; SILVA, B. B.; LOPES, P. M. O.; SILVA, E. F. F. Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, n.1, p.73-84, 2014.

BOEGH, E.; SOEGAARD, H.; THOMSEN, A. Evaluating evapotranspiration rates and surface conditions using Landsat TM to estimate atmospheric resistance and surface resistance. *Remote Sensing of Environment*, v.79, n.2, p.329-343, 2002.

BORATTO, I. M. P.; GOMIDE, R. L. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16, 2013, Foz do Iguaçu. Anais... São José dos Campos: INPE, p.7345-7352, 2013.

CAITANO, R. F.; LOPES, F. B.; TEIXEIRA, A. S. Estimate of the drought in the state of Ceará using Geographic Information Systems. In: Brazilian Symposium on Remote-Sensing SBSR, 15, 2011, Curitiba. Anais... Curitiba: INPE, p.8904, 2011.

CHANDER, G.; MARKHAN, B. Revised LANDSAT 5 - TM radiometric calibration procedures and post calibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*, v.41, n.11, p.2674-2677, 2003.

CLAVERIE, M., ; VERMOTE, E. F., ; FRANCH, B.; & MASEK, J. G. Evaluation of the Landsat/LANDSAT-428 5 TM and LANDSAT/Landsat-7 ETM+ surface reflectance products. *Remote Sensing of Environment*, v.169, n.1, 390-403, 2015.

CUNHA, J. E. B. L.; RUFINO, I. A.; SILVA, B. B.; CHAVES, I. D. B. Dinâmica da cobertura vegetal para a Bacia de São João do Rio do Peixe, PB, utilizando-se sensoriamento remoto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.5, p.539-548, 2012.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: EMBRAPA SOLOS, 2013. 353p.

FAGUNDES, J. L.; SILVA, S. C. da.; PEDREIRA, C. G. S.; SBRISIA, A. F.; CARNEVALLI, R. A.; CARVALHO, C. A. B. de.; PINTO, L. F. de M. Índice de área foliar, interceptação luminosa e acúmulo de forragem em pastagens de cynodon spp. sob diferentes intensidades de pastejo. *Revista Scientia Agrícola*, v.56, n.4, p.1141-1150, 1999.

GUSMÃO, A. C. V. L.; SILVA, B. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; GALVÍNCIO J. D.; OLIVEIRA, L. M. M. Índice de vegetação e temperatura da superfície no ecótono Ilha do Bananal por sensoriamento remoto. *Revista de Geografia*, v.30, n.3, p.209-225, 2013.

- HUETE, A. R. A soil adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, v.25, n.3, p.295-309, 1988.
- HUETE, A. R.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. P.; GAO, X.; FERREIRA, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, v.83, n.1, p.195-213, 2002.
- OLIVEIRA, L. M. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONIO, A. C. D.; SILVA, B. B.; MACHADO, C. C. C.; GALVÍNIO, J. D. Análise quantitativa de parâmetros biofísicos de bacia hidrográfica obtidos por sensoriamento remoto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.47, n.9, p.1209-1217, 2012.
- RÊGO, S. C. A.; LIMA, P. P. S.; LIMA, M. N. S.; MONTEIRO, T. R. R. Análise comparativa dos índices de vegetação NDVI e SAVI no município de São Domingos do Cariri-PB. *Revista Geonorte*, v.2, n.4, p.1217-1229, 2012.
- RODRIGUES, J. D.; ANDRADE, E. D.; TEIXEIRA, A. D. S.; SILVA, B. D. Sazonalidade de variáveis biofísicas em regiões semiáridas pelo emprego do sensoriamento remoto. *Revista Engenharia Agrícola*, v.29, n.3, p.452-465, 2009.
- ROMÁN, M. O.; SCHAFF, C. B.; LEWIS, P.; GAO, F.; ANDERSON, G. P. PRIVETTE, J. L.; STRAHLER, A. H.; WOODCOCK, C. E.; BARNESLEY, M. Assessing the coupling between surface albedo derived from MODIS and the fraction of diffuse skylight over spatially-characterized landscapes. *Remote Sensing of Environment*, v.114, n.4, p.738-760, 2010.
- SILVA, B. B. Estimativa da evapotranspiração real por meio de imagens do satélite LANDSAT 8. Cascavel-PR, 2015. 75p.
- SILVA, B. B.; BEZERRA, M. V. C. Determinação dos fluxos de calor sensível e latente na superfície utilizando imagens TM - Landsat 5. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.14, n.2, p.174-186, 2006.
- SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 - TM. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.20, n.2, p.243-252, 2005.
- SOUZA, J. F. Análise das mudanças do uso e ocupação do solo, variabilidade da temperatura e do saldo de radiação em João Pessoa - PB. 130f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental). Centro de Tecnologia. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2014.
- TEIXEIRA, A. H. C.; HERNANDEZ, F. B. T.; ANDRADE, R. G.; LEIVAS, J. F.; VICTORIA, D. C.; BOLF, E. L. Irrigation performance assessments for corn crop with Landsat images in the São Paulo state, Brazil. In: *Inovagri International Meeting, 2, 2014, Fortaleza. Anais... Fortaleza: INOVAGRI*, p.739-748, 2014.

**Capítulo 14**

**INFLUÊNCIA DA BENTONITA E MB4 NA ACIDEZ POTENCIAL, pH E CAPACIDADE DE TROCA CATIONICA DO SOLO**

**Lúcia Helena Garófalo Chaves<sup>1</sup>**  
**Gilvanise Alves Tito<sup>2</sup>**  
**Josely Dantas Fernandes<sup>3</sup>**  
**Antônio Ramos Cavalcante<sup>4</sup>**  
**Felipe Guedes de Souza<sup>5</sup>**  
**Ana Carolina Feitosa de Vasconcelos<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>Dra. Profa. Titular da UAEA/CTRN/ Universidade Federal de Campina Grande,  
lhgarofalo@hotmail.com

<sup>2,3,6</sup>Pesquisadores PDS-CNPq, UAEA/CTRN/Universidade Federal de Campina Grande,  
gilvanisetito@yahoo.com.br; joselysolo@yahoo.com.br; ana3carol@yahoo.com.br

<sup>4,5</sup>Doutorandos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Agrícola, CTRN/Universidade  
Federal de Campina Grande, antonioleidade@gmail.com; felipeguedes.eng@gmail.com

**Introdução**

Alguns solos têm fertilidade inerentemente baixa, porque estes solos são excessivamente inférteis por causa da sua gênese, conforme o material rochoso de origem. Por outro lado, outros são menos férteis devido à intervenção humana, como a extração de nutrientes através da colheita (absorção dos nutrientes pelas plantas) e outras exportações, como por exemplo, erosão, volatilização e lixiviação, sem reabastecer os nutrientes extraídos do solo (STRAATEN, 2006). Segundo Raji (1991), a lixiviação é o processo mais importante da perda de nutrientes em solos úmidos, porém, é muito difícil evitá-la. Portanto, a reposição desses nutrientes, através de elementos e compostos químicos, indispensáveis à produção é imprescindível. Muitos agricultores tem utilizado como fonte de nutrientes os adubos orgânicos, algumas vezes associados com adubos minerais.

A aplicação das chamadas práticas agrogeológicas, na agricultura orgânica, é apenas um dos instrumentos biofísicos utilizados para combater problemas relacionados a solos de longo prazo. Agrogeologia, ou o uso de rochas para as culturas (STRAATEN, 2002), é uma abordagem interdisciplinar que visa estudar processos geológicos, rochas naturais e materiais minerais que contribuem para a manutenção dos agroecossistemas (STRAATEN & FERNANDES, 1995; STRAATEN, 2002). Segundo Theodoro e Leonardos (2006), rochas naturais moídas têm sido empregadas na agricultura orgânica como fonte de nutrientes. A aplicação dessas rochas em ambientes tropicais, como no Brasil, tem

muitas vantagens. Em primeiro lugar, a taxa de dissolução de rochas e minerais e a reação entre superfícies minerais e solução do solo são aprimoradas sob altas temperaturas e regimes de umidade. Em segundo lugar, o potencial de aplicar rochas e minerais aos solos é elevado, pois, os solos caracterizados pelo baixo conteúdo de nutrientes, devido às altas quantidades de intemperismo e lixiviação, são altamente receptivos à adição de nutrientes, recuperando assim, estes solos empobrecidos e desequilibrados (GAMA, 2003).

No entanto, estes nutrientes têm sido liberados lentamente para o solo e, dependendo da composição mineralógica destas rochas, podem contribuir com variada e expressiva quantidade de elementos essenciais às plantas. Na utilização destes materiais, as rochas ou minerais são aplicadas ao solo na forma de pó, cuja técnica é conhecida por rochagem e pode ser feita com um custo bem menor do que a fertilização convencional com fertilizantes minerais solúveis. Segundo Bolland e Baker (2000), a eficácia do pó de rocha como fonte de nutrientes para o solo é questionada, devido à baixa solubilidade e pela necessidade de aplicar grandes quantidades de pó de rocha ao solo para se obter respostas positivas.

No Brasil ainda são poucas as referências sobre a utilização de rochas moídas na agricultura em escala comercial. Misturas de várias rochas moídas têm sido comercializadas, por exemplo, pela empresa MIBASA, cujo principal produto é a farinha de rocha MB4, sendo este uma mistura de duas rochas, a biotitaxisto e o serpentinito, tendo na sua composição cerca de 48% de sílica.

A bentonita também tem sido investigada como uma possibilidade de uso agrônômico, como material condicionador de solo ou fertilizante (CHAVES et al., 1999; CZABAN & SIEBIELEC, 2013). As bentonitas, encontradas em grandes depósitos no município de Boa Vista, PB, são compostas predominantemente por argilo minerais do grupo da esmectita, usualmente conhecida como montmorilonita, e impurezas de quartzo; em algumas variedades encontram-se também caulinita e ilita. Essas argilas também são quimicamente diferentes, pois contêm teor de silício baixo e alumínio alto em relação às outras cores (GOPINATH et al., 2003).

Diante do exposto, o objetivo do trabalho é avaliar o efeito da adição de doses crescentes de bentonita e de MB4 na acidez potencial, capacidade de troca catiônica e pH de solo.

### Material e Métodos

O solo utilizado no experimento, proveniente da Região Agreste da Paraíba, foi coletado na camada de 0-20 cm de profundidade, seco ao ar, peneirado de malha de 2,0mm e caracterizado química e fisicamente segundo os métodos adotados por Teixeira et al. (2017): 720,8 g kg<sup>-1</sup> de areia; 120,7 g kg<sup>-1</sup> de silte e 158,5 g kg<sup>-1</sup> de argila, apresentando classificação textural como franco arenoso; pH (H<sub>2</sub>O) = 5,5; Ca = 2,14 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; Mg = 0,98 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; Na = 0,12 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; K = 0,18 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; H + Al = 6,25 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; MO = 14,0 g kg<sup>-1</sup>; P = 8,0 mg kg<sup>-1</sup>; CTC = 9,67 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>.

A argila bentonita, proveniente da jazida Primavera, foi coletada, destorroada e passada em peneiras de malhas 0,50mm e 0,074mm para ser utilizada nos experimentos, conforme os tratamentos, e para ser caracterizada através da determinação semi-quantitativa de sua composição mineralógica, respectivamente. Através de fluorescência de raio x (EDX) a composição da bentonita apresentou: SiO<sub>2</sub> = 76,784%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 13,339%; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 6,035%; MgO = 2,225%; CaO = 0,759% e outros óxidos = 0,545%. Também foi determinada a capacidade de troca catiônica pelo método de azul de metileno (FERREIRA et al., 1972) tendo como

resultado 48 meq/100g de argila seca e Área Específica de 375 m<sup>2</sup>/g.

O pó de rocha MB4, utilizado no experimento, foi composto de uma mistura das rochas biotitaxisto e serpentinito, na proporção de 1:1 (PONTES et al., 2005). De acordo com Santos et al. (2011), o MB4 é uma farinha de rochas composta de 39,73% de SiO<sub>2</sub>; 17,82% de MgO; 7,10% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 6,86% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 5,90% de CaO; 1,48% de Na<sub>2</sub>O; 0,84% de K<sub>2</sub>O; 0,1 % de S; 0,075% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 0,074% de Mn; 0,029% de Cu; 0,029% de Co e 0,03% de Zn.

O experimento consistiu de um fatorial 4x4: com 4 doses de bentonita (B0 = 0; B30 = 30; B60 = 60; e B90 = 90 t ha<sup>-1</sup>, e 4 doses de MB4 (M0 = 0; M3 = 3; M6 = 6; e M9 = 9 t ha<sup>-1</sup>, com 3 repetições, em delineamento inteiramente casualizado, totalizando 48 unidades experimentais.

Cada unidade experimental constou de um vaso plástico com 14 kg de solo, previamente seco, peneirado e misturado com as doses de bentonita e MB4 correspondentes aos tratamentos. As misturas de solo com os tratamentos foram acondicionadas nos vasos plásticos, colocadas em capacidade de campo com água de abastecimento e incubadas por 90 dias, mantendo-se a umidade próximo à capacidade de campo. Após a incubação foram retiradas amostras de solo de cada unidade experimental, secas ao ar e peneiradas em malha de 2mm de abertura. Estas amostras foram submetidas às análises de acidez potencial, pH e capacidade de troca catiônica (CTC), segundo os métodos adotados por Teixeira et al. (2017). Os resultados foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o programa SISVAR (FERREIRA, 2011).

### Resultados e Discussão

Conforme a análise de variância verifica-se que, a acidez potencial (H+Al) é influenciada significativamente (p<0,01) pelos fatores isolados bentonita e MB4, enquanto que a interação entre estes fatores influencia a nível de p<0,01 a capacidade de troca catiônica (CTC) e o pH (Tabela1).

Tabela 1. Análise de variância da acidez potencial (H+Al), capacidade de troca catiônica (CTC) e pH do solo após incubação com os tratamentos

Fator de Variação	GL	Quadrado Médio		
		H+Al <sup>1</sup>	CTC	pH
Bentonita (B)	3	0,015**	13,532**	1,328**
Regressão Linear	1	0,034**	-	-
Regressão Quadrática	1	0,003ns	-	-
Desvio	2	0,007*	-	-
MB4 (M)	3	0,414**	5,862**	1,924**
Regressão Linear	1	1,231**	-	-
Regressão Quadrática	1	0,005ns	-	-
Desvio	2	0,006ns	-	-
B x M	9	0,004ns	0,416**	0,767**
Resíduo	32+	0,002	0,108	0,018
CV (%)		11,81	5,50	2,41
MG		0,35	2,39	5,56

\* e \*\*: significativo a  $(0,05 \leq p)$  e  $(0,01 \leq p)$  de probabilidade do erro, ns: não significativo; <sup>1</sup> Transformado em log x; + resíduo de todos os tratamentos juntamente com desdobramento dos mesmos; CV= coeficiente de variação; MG= Média geral.

A incorporação de bentonita ao solo incubado por 90 dias favorece o acréscimo linear da acidez potencial (Figura 1A), provocando um aumento de 23,2% quando se compara a dose 90 t ha<sup>-1</sup> de bentonita com a

testemunha. Este fato pode ser justificado devido ao alto teor de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (13,34%) apresentado na composição da bentonita usada neste estudo.

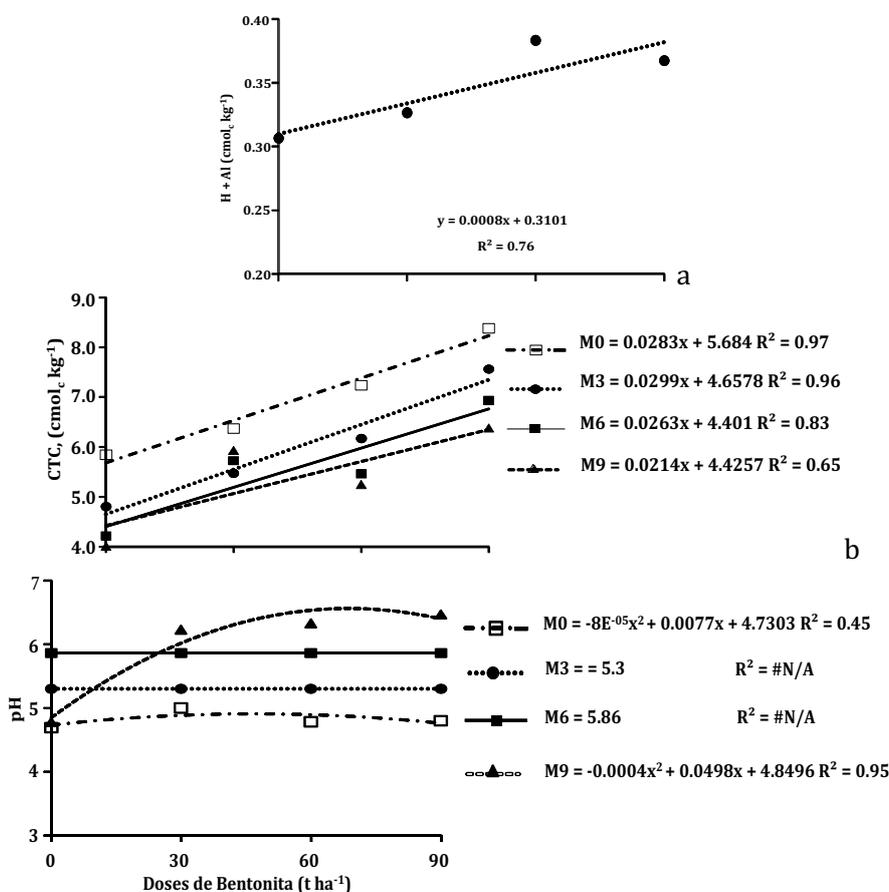


Figura 1. Teores da acidez potencial (H+Al) (A), Capacidade de troca catiônica (CTC) (B), e pH (C) determinados no solo após aplicação e incubação dos tratamentos, doses crescentes de bentonita (0, 30, 60, 90 t ha<sup>-1</sup>).

Em geral, verifica-se que, as doses crescentes de bentonita favorecem a CTC, principalmente sem a presença de MB4 (M0) (Figura 1B). Isso, devido ao fato das argilas, terem alta micro porosidade, maior superfície específica, aumentando a quantidade de sítios disponíveis para as ligações, ou seja, favorecendo assim uma maior troca catiônica (CTC). De acordo com Huang et al. (2014), os agregados finos do solo e os minerais de argila têm maior capacidade de reter metais pesados devido à sua maior área de superfície, corroborando com Li et al. (2018). Pode-se inferir que, a bentonita é favorável à liberação de cátions trocáveis para o solo, mostrando um acréscimo de 44,8% quando se compara a maior dose (90 t ha<sup>-1</sup>) em relação a testemunha na ausência de MB4. Quando doses crescentes de bentonita são misturadas às doses de MB4 (Figura 1B), há diminuição nos valores da CTC em relação à curva M0, o que pode ter ocorrido uma concorrência dos sítios de troca. No entanto, mesmo com a redução da CTC nas curvas M3, M6 e M9, doses crescentes de bentonita eleva a CTC em 57,8; 53,8 e 43,5%, respectivamente, quando compara-se a dose 90 t ha<sup>-1</sup> de bentonita com a testemunha.

Em relação ao pH (Figura 1C), observa-se que em M0 praticamente não há diferenças com o acréscimo das doses de bentonita, variando apenas 0,9% entre a maior e a menor dose de bentonita, apesar do valor do pH desta argila ser em torno de 8,5. Mesmo não apresentando resultados significativos estatisticamente, os tratamentos doses crescentes de bentonita dentro de M3 e M6, eleva o pH de 4,7 a 5,86 (Figura 1C). Porém, quando doses crescentes de bentonita são misturadas a maior dose de MB4 (M9), ocorre variações do pH, promovendo um acréscimo de 29,3%, quando compara-se a dose 90 t ha<sup>-1</sup> com a dose 0 t ha<sup>-1</sup>, com o ponto máximo de neutralização em 69,19 t ha<sup>-1</sup> de bentonita, correspondente a um pH de 6,6.

Em relação às doses crescentes de MB4 (Figura 2), verifica-se que ocorre uma redução do H + Al em forma linear de 76,6%, em relação a maior dose com a testemunha. O que mostra que, o MB4 não liberou Al<sup>3+</sup> trocável na reação do pó de rocha com a solução do solo. Melo et al. (2012) em um experimento de incubação em vaso por um ano, com diferentes doses de basalto moído, observaram que o efeito da adição das doses de basalto apresentou maior eficiência para a neutralização da acidez potencial.

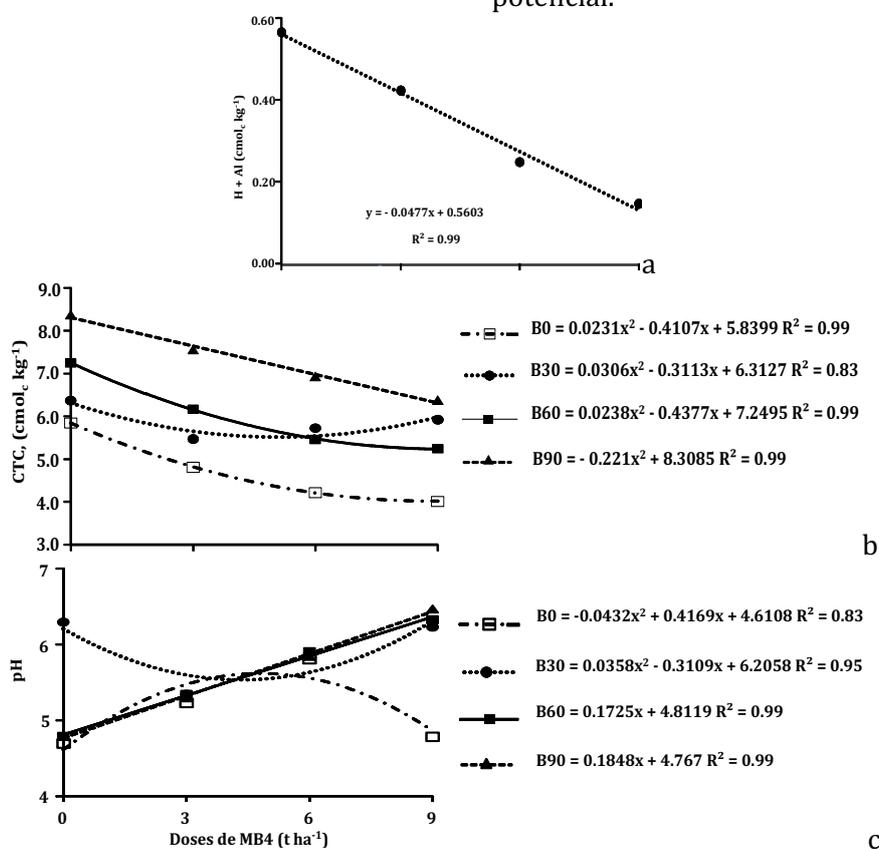


Figura 2. Teores da acidez potencial (H+Al) (A), Capacidade de troca catiônica (CTC) (B); e pH (C) determinados no solo após aplicação e incubação dos tratamentos, doses crescentes de MB4 (0, 3, 6, 9 t ha<sup>-1</sup>).

Doses crescente de MB4 reduz a CTC, principalmente na ausência de bentonita (B0), onde os valores são menores do que a testemunha, mostrando que o MB4 não libera os nutrientes necessários. Possivelmente, esse pó de rocha, reage de alguma forma com os cátions disponíveis na solução do solo tornando-os indisponíveis e/ou, devido ao pouco tempo de incubação do pó de rocha no solo, os nutrientes são liberados lentamente (Figura 2). Resultados contrários foram observados por Gillman (1980) e Gillman et al. (2001) trabalhando com incubação de pó de basalto em solos intemperizados; em todos estes experimentos, a CTC foi elevada em função das doses crescentes do pó de basalto.

Em relação ao efeito do MB4 no pH do solo (Figura 2), pode-se observar que, sem bentonita (B0) o pH foi regido por uma equação quadrática, havendo uma elevação do pH até o ponto de máxima neutralização da acidez, que deu-se com 4,82 t ha<sup>-1</sup> de MB4, equivalente ao pH 5,62, representando um acréscimo em torno de 22%, voltando a decrescer até a dose de 9 tha<sup>-1</sup>. No entanto, mesmo com essa redução, ocorre um aumento do pH em 5,5% da maior dose em relação à testemunha. Essa elevação do pH com o aumento das doses de MB4 foi possivelmente devido aos elevados percentuais de MgO e de CaO contidos no MB4, e o valor do pH deste material que se apresenta em torno de 8,3. Theodoro e Leonardos (2006) verificaram que, a aplicação de pó de rocha vulcânica em um solo arenoso, aumentou significativamente o pH, o que pode ser explicado pelo menor poder tampão do solo estudado, corroborando Gillman et al. (2001). Por outro lado, Nichele et al. (2009), não verificaram diferenças significativas de pH entres os tratamentos num solo similar.

### Conclusão

De acordo com os resultados apresentados, as doses de bentonita utilizadas, em geral, aumentaram a acidez potencial e capacidade de troca catiônica do solo; o contrário ocorreu com doses crescentes de MB4, no período considerado.

### Agradecimentos

Ao CNPq pela concessão das bolsas aos pesquisadores PDS-CNPq.

### Referências

BOLLAND, M. D. A.; BAKER, M. J. Powdered granite is not an effective fertilizer for clover

and wheat in sandy soils from Western Australia. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.56, n.1, p.59-68, 2000.

CHAVES, L. H. G.; AZEVEDO, N. C.; TITO, G. A. Efeito da aplicação de bentonita nas propriedades químicas de um Regossolo Distrófico. *Agropecuária Técnica*, v.20, n.1, p.73-78, 1999.

CZABAN, J.; SIEBIELEC, G. Effects of bentonite on sandy soil chemistry in a long-term plot experiment (II); Effect on pH, CEC, and macro and micronutrients. *Polish Journal Environmental Studies*, v.22, n.6, p.1669-1676, 2013.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.

GAMA, H. B. Lama de serraria de granito na agricultura orgânica. *Revista Agroecologia Hoje*, n.20, p.24, 2003.

GILLMAN, G. P. The effect of crushed basalt scoria on the cation exchange properties of a highly weathered soil. *Soil Science Society of America Journal*, v.44, n.3, p.465-468, 1980.

GILLMAN, G. P.; BUEKETT, D. C.; COVENTRY, R. J. A laboratory study of application of basalt dust to highly weathered soils: effects ion soil cation chemistry. *Australian Journal of Soil Research*, v.39, n.4, p.799-811, 2001.

GOPINATH, T. R.; CRUZ, V. C. A.; FREIRE, J. A. Estudo comparativo da composição química e as variedades de argilas bentoníticas da região de Boa Vista, Paraíba. *Revista de Geologia*, v.16, n.1, p.35-48, 2003.

MELO, V. F.; UCHÔA, S. C. P.; DIAS, F. O.; BARBOSA, G. F. Doses de basalto moído nas propriedades químicas de um Latossolo Amarelo distrófico da savana de Roraima. *Acta Amazônica*, v.42, n.4, p.471-476, 2012.

NICHELE, E. R. Utilização de pó de rochas no desenvolvimento e nutrição do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris*). *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v.8, n.2, p.111-121, 2009.

RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Ceres, 1991. 343p.

SANTOS, K. S. R.; RAMOS, A. P. S.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, M. S. B. Capacidade de fornecimento de P e K do adubo da independência e seus componentes em cultivos sucessivos em pote. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.4, n.5, p.1082-1096, 2011.

STRAATEN, P. van. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.78, n.4, p.731-747, 2006.

STRAATEN, P. van. Rocks for crops: Agrominerals of Sub-Saharan Africa. Nairobi, Kenya: ICRAF, 2002. 338p.

STRAATEN, P. van; FERNANDES, T. R. C. Agrogeology in Eastern and Southern Africa: a survey with particular reference to developments in phosphate utilization in Zimbabwe. In: BLENKINSOP, T. G.; TROMP, P. L. (Eds). Sub-Saharan Economic Geology: Geological Society of Zimbabwe. Special

Publications 3. Netherlands: Balkema Publishers, 1995. p.103-118.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H. The use of rocks to improve family agriculture in Brazil. Annals of the Brazilian Academy of Sciences, v.78, n.4, p.721-730, 2006.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573p.

## Capítulo 15

### **MAPEAMENTO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTE DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE PALMAS-TO**

**Joyce Rodrigues Solano<sup>1</sup>**  
**Daniel Iglesias de Carvalho<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Graduanda em Eng. Civil, CEULP/ULBRA, Palmas-TO, joycersolano@gmail.com

<sup>2</sup>Prof. M.e CEULP/ULBRA, Palmas-TO, daniel.iglesias@ceulp.edu.br

#### **Introdução**

As pontes de concreto foram tomando espaço entre os tipos pontes do Brasil, também intituladas Obras de Arte Especiais (OAE), e em conjunto com o aço formam o material mais utilizado para construção de estruturas do país devido às características de cada um, sua facilidade de execução e possibilidade de diversas formas (ANDRADE, 1997). Denominado concreto armado, a junção desses dois materiais forma um componente resistente à compressão e tração.

Andrade (1997) afirma que por muito tempo, o concreto armado foi visto como um material de durabilidade ilimitada. Hoje se sabe que ele também é um material sujeito a agentes agressivos que geram manifestações patológicas e em alguns casos se não tratadas, podem levar a estrutura a colapso.

O crescimento acelerado da construção civil trouxe consigo inovações e inconscientemente a aceitação de maiores riscos, de acordo com Trindade (2015). Enquanto isso, o desenvolvimento tecnológico aconteceu mais lentamente, em alguns casos através do estudo de erros já cometidos, o que resulta na durabilidade reduzida e deterioração precoce das estruturas, que é nossa realidade atual.

Segundo Souza e Ripper (1998), patologia das estruturas é o estudo das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das anomalias presentes nas estruturas, podendo ser classificadas em simples e complexas. Essas podem se manifestar de diversas formas nas estruturas, como por fissuras, deslocamento do concreto, exposição de armaduras, entre outros.

Para evitar o surgimento de anomalias na estrutura, são necessárias manutenções, segundo Vitório (2002). Elas são necessárias para que haja a conservação das construções em geral, que é definida pelo conjunto de ações necessárias para que a estrutura mantenha as

características para as quais ela foi projetada e construída.

Através das inspeções, é possível detectar problemas antes que eles se tornem irreversíveis e gerar planos de manutenção, que podem ser preventivas ou corretivas. De acordo com Souza e Ripper (1998), as manutenções preventivas colaboram para o prolongamento da vida útil das estruturas, pois a detecção e estudo das manifestações patológicas existentes e suas possíveis causas, podem auxiliar na tomada de decisões quanto à recuperação das estruturas.

Vitório (2002) afirma que, a ausência de uma cultura de manutenção faz com que os órgãos governamentais responsáveis pelas obras públicas priorizem apenas a execução das obras, deixando de lado as questões relacionadas à conservação.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo identificar as manifestações patológicas existentes em ponte de concreto armado no município de Palmas-TO, através de inspeção *in loco*, indicando a localização e o nível de degradação.

#### **Material e Métodos**

O objeto de estudo deste trabalho é uma ponte de concreto armado, localizada na Avenida Joaquim Teotônio Segurado, Quadra 302 Sul, sentido Sul-Norte, que sobrepõe o Córrego Brejo Comprido, em Palmas – TO. Ela é composta de nove pilares de seção circular de aproximadamente 1,25 metros de diâmetro e 2,20 metros de altura, nove vigas transversinas de dimensões 15,70 x 0,40 x 1,70 metros, sendo respectivamente comprimento, largura e altura, e quatro vigas longarinas de 60 x 0,40 x 1,70 metros, seguindo a mesma sequência. É asfaltada e possui aproximadamente 60 metros de comprimento e 14 metros de largura, sendo divididas em 4 faixas de 3 metros e meio, guarda-rodas de concreto em ambos os lados, passarela e guarda-corpo na lateral direita para pedestres, como observa-se na Figura 1.



Figura 8. Ponte em estudo. Fonte: Google Earth (2019).

Foi definido um número de dez pontes, selecionando duas pontes para cada região do Brasil, que sejam de concreto armado, que possuam características construtivas semelhantes e possam ser comparadas entre si. Nelas, foram investigadas as anomalias mais comuns em pontes no país, como fissuras, exposição e corrosão de armaduras, falhas de concretagem, carbonatação, juntas de dilatação, pavimento deficiente, deslocamento do concreto, drenagem deficiente, eflorescências, manchas de bolor, passeio danificado, recalque de fundação, desagregação do concreto, excesso de umidade, guarda corpo danificado, trincas na estrutura, trincas no pavimento, aparelhos de apoio, desgaste do concreto, desnível nos encontros e rachaduras.

Em seguida, houve a realização de inspeção in loco na estrutura da ponte com o auxílio do manual da metodologia GDE/UnB. A metodologia GDE/UnB é uma forma de inspecionar estruturas de concreto armado proposto no Programa de Pós-graduação em

Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília – PECC/UnB, atribuindo valores às anomalias encontradas para avaliação do estado de conservação das estruturas. Essa metodologia fornece, como resultado de uma análise de dados coletadas das inspeções visuais realizadas em campo um, número que pode variar de 1 a 282,8. Ela é um conjunto de ações realizadas em campo e em escritório, que levam a um valor final que determina o grau de deterioração da estrutura e lhe atribui um tempo necessário para intervenção (EUQUERES, 2011).

Inicialmente foi realizada a divisão da estrutura em famílias de elementos típicos. Nessa etapa, os elementos foram agrupados de acordo com suas características peculiares e com sua função estrutural no conjunto (VERLY, 2015). A esses elementos foram atribuídos Fatores de relevância estrutural (Fr), que tem como objetivo considerar a importância de uma família no comportamento e no desempenho da estrutura estudada.

Tabela 1. Fatores de relevância estrutural

Família	Fr
Barreiras, guarda-corpo, guarda-rodas, pista de rolamento	1
Juntas de dilatação	2
Transversinas, cortinas, alas	3
Lajes, fundações, vigas secundárias, aparelhos de apoio	4
Vigas e pilares principais	5

Fonte: Euqeres (2011).

Em seguida foi definido o Fator de ponderação do dano (Fp) para cada família adotada. De acordo com Castro (1994), o Fp quantifica a importância de um determinado dano em relação às condições gerais de segurança, funcionalidade e estética dos

elementos de uma determinada família. A Tabela 2 exemplifica o sistema adotado para indicar os Fatores de ponderação do dano para a família dos pilares de acordo com Euqeres (2011) e os Fatores de intensidade do dano.

Tabela 2. Modelo de ficha de inspeção para pilares

Nome do elemento		Pilares			
Tipo de elemento					
Local		-			
Danos		Fp	Fi	D	Croquis/Observações
Carbonatação		3			
Cobrimento deficiente		3			
Contaminação por cloretos		4			
Corrosão de armaduras		5			
Danos por impacto		5			
Desagregação		3			
Desplacamento		3			
Desvio de geometria		4			
Eflorescência		2			
Falha de concretagem		3			
Fissuras		2 a 5*			
Manchas		3			
Recalque		5			
Sinais de esmagamento		5			
Umidade na base		3			

Fonte: Euqueres (2011).

Em seguida, foi calculado o Grau de dano (D) para cada anomalia encontrada no elemento estrutural. Castro (1994) calculou o grau de dano em função do fator de intensidade do dano e do fator de ponderação do dano. A partir disso, foram geradas duas equações para encontrar o valor de D, indicadas nas Equações 1 e 2. A primeira obtém o grau de dano para fatores de intensidade com valores de até 2,0 e a segunda para valores acima de 3,0.

$$D = 0,8 \times F_i \times F_p \quad (\text{Eq. 1})$$

$$D = (12 \times F_i - 28) \times F_p \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:  $F_i$  = Fator de intensidade do dano;  $F_p$  = Fator de ponderação do dano.

Após obtido os valores de D, foi calculado o Grau de deterioração do elemento (Gde) do grau de dano encontrado no elemento, utilizando a Equação 3. O Gde é uma análise dos efeitos de todas as anomalias encontradas no elemento, onde  $D_i$  é o grau de dano de índice "i",  $D_{\text{máx}}$  é o maior grau de dano encontrado no elemento e n é o número de danos encontrados no elemento.

$$G_{de} = D_{\text{máx}} \left[ 1 + \frac{(\sum_{i=1}^n D_i) - D_{\text{máx}}}{\sum_{i=1}^n D_i} \right] \quad (\text{Eq. 3})$$

De acordo com o Gde calculado, foram propostas as ações a serem adotadas em cada elemento conforme a Tabela 3 (FONSECA, 2007).

Tabela 3. Classificação dos níveis de deterioração do elemento

Nível de deterioração	Gde	Ações a serem adotadas
Baixo	0-15	Estado aceitável. Manutenção preventiva
Médio	16-50	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos)
Alto	51-80	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em médio prazo (máximo 18 meses)
Sofrível	81-100	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máximo 1 ano)
Crítico	>101	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata

Fonte: Euqueres (2011).

Posteriormente, foi calculado o Grau de deterioração de uma família de elementos ( $G_{df}$ ) de acordo com a Equação 4. Esse parâmetro é obtido através dos graus de deterioração do elemento maiores que zero, e tem por objetivo avaliar os danos por famílias.

$$G_{df} = G_{de,máx} \sqrt{1 + \frac{(\sum_{i=1}^m G_{de,i}) - G_{de,máx}}{\sum_{i=1}^m G_{de,i}}} \quad (\text{Eq. 4})$$

Após, foi obtido o Grau de deterioração da estrutura ( $G_d$ ) de acordo com a Equação 5. Onde foi calculado através dos valores de  $G_{df}$  e do fator de relevância estrutural da família.

$$G_d = \frac{\sum_{i=1}^k (F_{r,i} \times G_{df,i})}{\sum_{i=1}^k F_{r,i}} \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:  $k$  = número de famílias da estrutura;  $F_{r,i}$  = fator de relevância estrutural da família de ordem "i";  $G_{df,i}$  = grau de deterioração da família de ordem "i".

Assim como no  $G_{de}$ , são propostas classificações em uma escala de deterioração para a estrutura de acordo com o valor encontrado em  $G_d$  e medidas a serem tomadas, conforme a Tabela 4.

Tabela 4. Classificação dos níveis de deterioração da estrutura

Nível de deterioração	Gd	Ações a serem adotadas
Baixo	0-15	Estado aceitável. Manutenção preventiva
Médio	16-50	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos)
Alto	51-80	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em médio prazo (máximo 18 meses)
Sofrível	81-100	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máximo 1 ano)
Crítico	>101	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata

Fonte: Euqeres (2011).

Para melhor visualização do objeto de estudo foi realizado um croqui durante a inspeção. Ele serviu de auxílio visto que, foram nomeados os elementos estruturais, dividindo-os em pilares, vigas transversinas, vigas longarinas e lajes. A partir do croqui foi feito um projeto em 3D da ponte no qual foram localizadas as manifestações patológicas através de desenhos de diferentes cores. Todos

os projetos foram acompanhados de legenda para compreensão dos símbolos e cores utilizados.

O mapeamento das anomalias foi feito em projeto 3D realizado no software Sketchup, onde todas as manifestações patológicas encontradas na ponte foram divididas por cores como observa-se na Figura 2.

	Eflorescência
	Mancha de bolor
	Infiltração de água
	Desagregação + deslocamento + sinais de esmagamento
	Fissuras
	Corrosão da armadura
	Falha de concretagem
	Cobrimento deficiente + corrosão de armadura

Figura 2. Legenda para mapeamento das manifestações patológicas.

## Resultados e Discussão

Nas pesquisas bibliográficas fica evidenciado que, a manifestação patológica mais encontrada é a fissura que se apresenta em

7 das 10 pontes pesquisadas, seguida pela exposição das armaduras, como é evidenciado no gráfico da Figura 3.

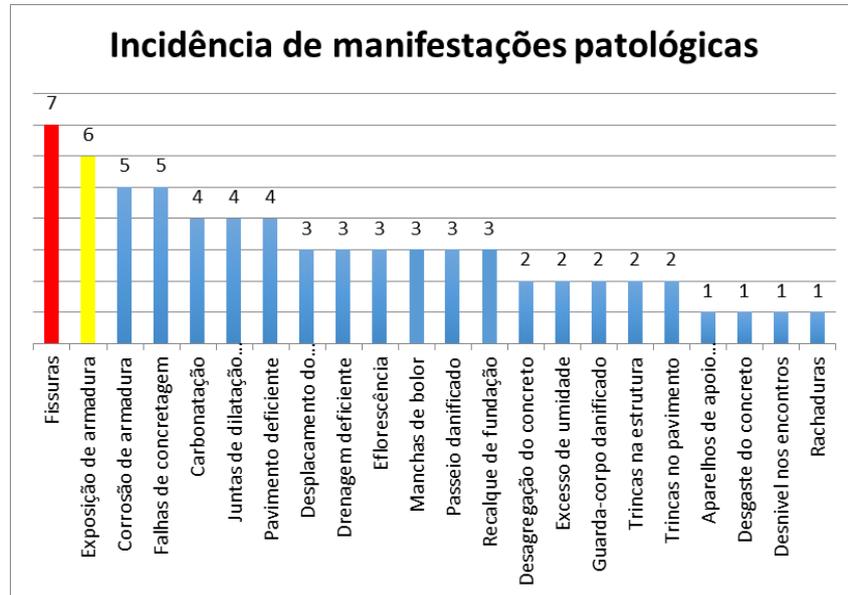


Figura 3. Manifestações patológicas incidentes em pontes em 10 cidades do Brasil.

As fissuras podem ocorrer por diversas causas distintas e por isso seu diagnóstico exige mais atenção. Thomaz (1989) afirma que, podem surgir devido as tensões provenientes de sobrecargas, movimentação de materiais, componentes ou da obra como um todo. Não era o objetivo de nenhum dos artigos analisados identificar qual a real causa das anomalias encontradas, por isso a pesquisa também não pode afirmá-las.

As manifestações patológicas podem ter origem em diferentes fases de uma obra, sendo elas: projeto, execução e uso. Thomaz (1989) cita pesquisa realizada na Bélgica baseada em 1800 casos de manifestações patológicas, a qual chegou à conclusão de que 46% delas originavam-se de falhas de projeto. Segundo Souza e Ripper (1998), isso se dá devido aos erros de lançamento da estrutura, e pode elevar os custos de execução, além de inviabilizar algumas especificações.

Na análise pode-se notar a unanimidade na afirmação de que a falta de manutenção nas pontes pesquisadas, gerou um agravamento do quadro patológico delas.

A ponte com mais tipos diferentes de manifestações patológicas é a localizada em Porto Nacional, no Tocantins (Figura 4). Observa-se que Porto Nacional possui 10 das 67 manifestações patológicas encontradas. De acordo com Daniel et al. (2016), essa ponte foi construída em 1978 e desde então, passou por poucas manutenções. Sua estrutura, devido à idade e aumento do tráfego, que hoje é composto por muitos caminhões, não está de acordo com a nova realidade que a estrutura está exposta. Esses fatores somados ao descaso que é dado a manutenções foram causando as anomalias encontradas na estrutura que, atualmente, está interdita.

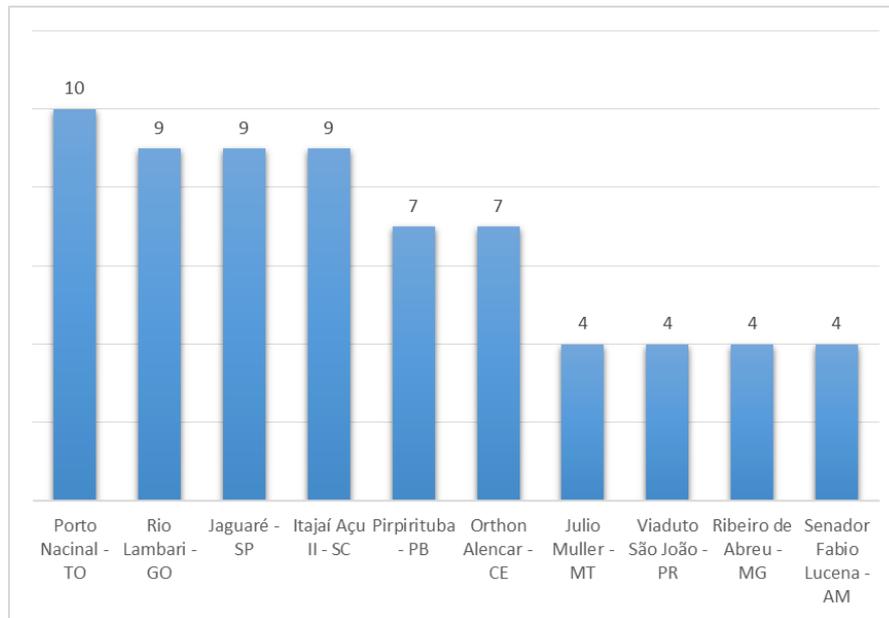


Figura 4. Número de manifestações patológicas por ponte.

Baseado na inspeção realizada na ponte de Palmas, foram encontradas as anomalias que estão apresentadas de acordo com cada

elemento estrutural no croqui da Figura 5 indica a nomenclatura utilizada para realização do trabalho.

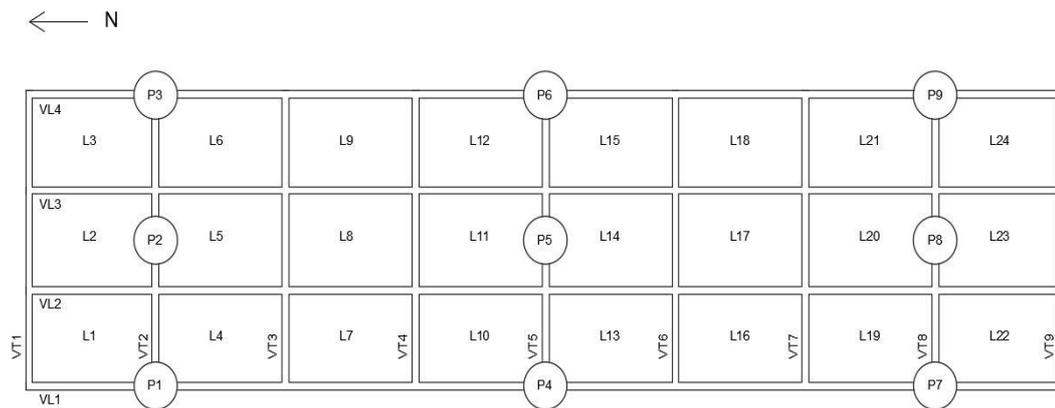


Figura 5. Croqui da OAE do estudo de caso.

Em toda a estrutura analisada, os pilares foram os elementos mais deteriorados, encontrando-se anomalias principalmente em sua base. Com exceção dos pilares sete, oito e nove, todos foram classificados pela metodologia em estado de deterioração crítica. As manifestações patológicas mais encontradas nos pilares foram a desagregação, o deslocamento do concreto e a corrosão das armaduras, aparecendo em sete dos nove pilares inspecionados. Em alguns casos, os estribos da armadura encontravam-se rompidos. Apesar da fissura ser uma manifestação pouco encontrada na ponte, ela provavelmente antecedeu esses fenômenos mais encontrados, criando assim uma

semelhança com as pontes espalhadas pelo país que foram estudadas anteriormente.

Outra manifestação muito recorrente foram os sinais de esmagamento. De acordo com a metodologia GDE/UnB, esses sinais se caracterizam pelas fissuras diagonais ou verticais, podendo evoluir para um intenso lascamento do concreto. Esse deslocamento excessivo é observado em praticamente todos os pilares da estrutura.

O pilar mais afetado da estrutura é o pilar seis (P6). Nele são encontradas as anomalias, seguindo os padrões da metodologia GDE/UnB, cobrimento deficiente, corrosão das armaduras, desagregação, deslocamento, fissuras, manchas de bolor e sinais de esmagamento. Todos esses sinais indicam um

esmagamento por compressão do pilar, provavelmente por cargas excessivas na estrutura. Também é possível notar que o cobrimento é insuficiente para o tipo de construção, visto que o ambiente é úmido e

consequentemente agressivo às estruturas. Devido ao grau de intensidade dessas manifestações, isso gerou um nível de deterioração crítico no elemento. A Figura 6 demonstra o estado real do elemento.



Figura 6. Anomalias no pilar 6.

A manifestação patológica mais encontrada nas vigas foi a infiltração de água, seguida pela eflorescência. Mehta e Monteiro (2008) relatam que, a água corrente ou de infiltração sob pressão promove o arraste do hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) presente na pasta de cimento para a sua superfície. Isso reduz o pH do concreto e, quando entram em contato com o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), surgem as manchas esbranquiçadas denominadas eflorescências. Dessa forma, pode ser que no futuro existam ainda mais eflorescências. Em alguns casos é possível notar que, as infiltrações foram geradas devido ao dreno instalado na pista, para que

houvesse a drenagem da água da chuva. No entanto, o mau posicionamento e a má impermeabilização desse dreno, fizeram com que a água escorresse pela laje, e em seguida pela viga, transportando também a sujeira do pavimento.

A viga mais afetada é a viga longarina quatro (VL4), possuindo nível de deterioração médio e que apresentava falha de concretagem, eflorescência, infiltração de água e manchas de bolor. Na Figura 7 é possível enxergar as manchas de bolor em grandes extensões, a infiltração que vem do tabuleiro superior, e eflorescências.



Figura 7. Anomalias na viga longarina 4.

Para ocorrerem as manchas de bolor, é necessário que haja umidade constante para que os microrganismos do grupo de fungos se desenvolvam, de acordo com Molin (1988). Isso é fácil de notar na ponte estudada, pois o ambiente é úmido devido ao córrego que passa

embaixo, acrescido de toda a vegetação que está em volta. Também é possível ver a falha de concretagem no canto inferior da viga. Essa falha gera perda de resistência nessa região, devido à falta de homogeneidade do material. Além disso, permite a entrada dos agentes

agressivos com mais facilidade, chegando até a armadura, que é um dos principais problemas.

Praticamente todas as lajes apresentam as mesmas anomalias, que são infiltrações e eflorescência. Algumas em maior ou menor quantidade ou acompanhadas de outras manifestações. A maior parte das lajes possui uma configuração semelhante à apresentada na Figura 8 como manchas brancas de eflorescência, e manchas mais escuras de infiltração de água. Também pode ser

observada que na Figura 8a, a eflorescência está em estado avançado, com sais em estado pulverulento na superfície. O prognóstico para ambas as manifestações é o de corrosão da armadura. Ambos possuem a presença de água, que estão tendo contato com o aço da estrutura e afetando-o de dentro para fora. A laje mais afetada é a dezesseis (L16), que contém cobertura deficiente, corrosão de armaduras, eflorescência e infiltração de água.

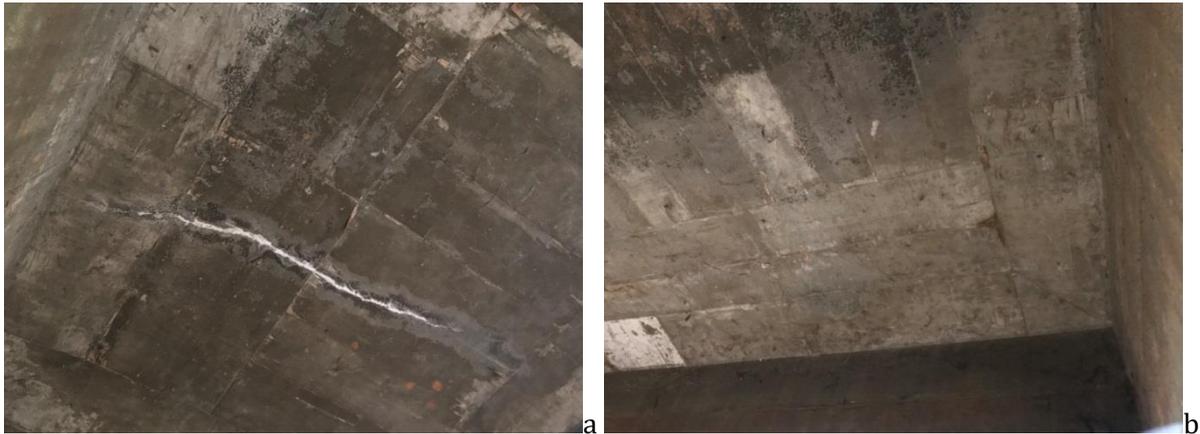


Figura 8. a) Anomalias na laje 10, e b) laje 16.

Na pista de rolamento, não há muita degradação para o padrão da metodologia GDE/UnB. Nela foram encontradas apenas desgaste superficial e desgaste da sinalização, indicada na Figura 9. Pode-se notar o desgaste da superfície do pavimento principalmente nas laterais e fissuras longitudinais e transversais.

Também se nota o desgaste da sinalização, que devido ao intenso uso da avenida está desaparecendo. Na lateral direita é visualizado um afundamento plástico, que é uma deformação na superfície do asfalto acompanhada de solevamento. Solevamento é a compensação dessa deformação nas laterais.

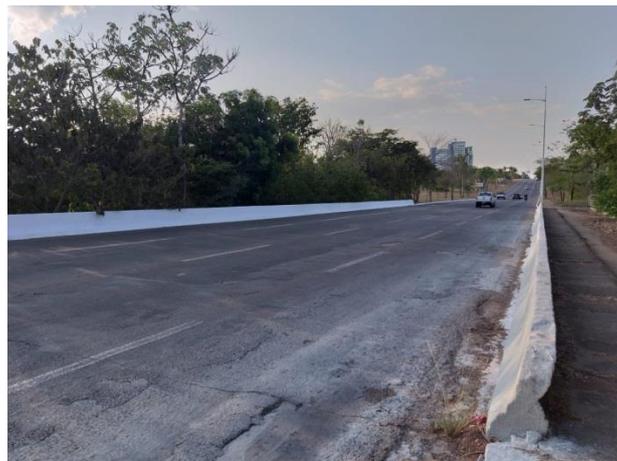


Figura 9. Degradação do pavimento na pista de rolamento.

Há apenas um guarda corpo no lado direito da avenida. O guarda corpo é misto, composto de concreto e estruturas metálicas. Foram encontradas manchas de bolor em toda extensão do concreto, assim como manchas de eflorescência. É possível observar que, há um

acumulo de material próximo ao guarda corpo, indicado na Figura 10, por isso é presumível que a água da chuva também fica empocada. Nesse caso, é o local apropriado para a proliferação de fungos e infiltração de água no concreto.



Figura 10. Manchas de bolor e eflorescência no guarda corpo.

O guarda rodas mais degradado foi o guarda rodas da direita (GR1). Nele são observadas corrosão de armadura, desagregação, fissuras mapeadas e manchas de bolor, como pode-se observar na Figura 11. Eles

foram recentemente pintados de branco, por isso não foi possível notar algumas manifestações na parte frontal, no entanto, na parte de trás ficam evidentes.



Figura 11. Manchas de bolor no guarda rodas direito.

Durante a inspeção na Obra de Arte Especial, foram encontrados 146 danos na estrutura, divididas em 12 tipos de anomalias. Pode-se perceber que, a água é um ponto muito importante para a conservação da estrutura. Ao juntar todas as manifestações patológicas provenientes dela, que são as eflorescências, infiltrações e manchas de bolor, têm-se 55,5% dos danos totais. Ou seja, mais da metade do processo de deterioração da estrutura poderia ter sido evitado com a utilização de

impermeabilizações mais eficientes ou até mesmo a manutenção ao final de vida útil delas.

Depois de realizadas as inspeções *in loco*, os dados atribuídos aos fatores de intensidade dos danos e os fatores de ponderação fornecidos pelo manual da metodologia, foram tratados utilizando as Equações 1 e 2. Na Tabela 5 estão listados os piores elementos de toda estrutura, com seus respectivos resultados.

Tabela 5. Grau de dano das anomalias encontradas

Família	Elemento	Dano	Fp	Fi	D
Pilares	P6	Cobrimento deficiente	3	3	24
Pilares	P6	Corrosão de armaduras	5	4	100
Pilares	P6	Desagregação	3	4	60
Pilares	P6	Deslocamento	3	4	60
Pilares	P6	Fissuras	5	2	8
Pilares	P6	Manchas	3	2	4,8
Pilares	P6	Sinais de esmagamento	5	4	100
Vigas	VL4	Falhas de concretagem	2	2	3,2
Vigas	VL4	Eflorescência	2	3	16
Vigas	VL4	Infiltração de água	3	2	4,8
Vigas	VL4	Manchas	3	3	24
Lajes	L16	Cobrimento deficiente	3	2	4,8
Lajes	L16	Corrosão de armaduras	5	2	8
Lajes	L16	Eflorescência	2	2	3,2
Lajes	L16	Infiltração de água	3	4	60
Guarda-corpo	GC	Eflorescência	2	2	3,2
Guarda-corpo	GC	Manchas	3	3	24
Guarda-rodas	GR1	Corrosão de armaduras	5	1	4
Guarda-rodas	GR1	Desagregação	3	3	24
Guarda-rodas	GR1	Fissuras	2	1	1,6
Guarda-rodas	GR1	Manchas	3	4	60

A partir dos valores obtidos do Grau de Dano (D), são realizados os cálculos através da Equação 3 para obtenção do Grau de deterioração dos elementos (Gde)

exemplificado na Tabela 6. Observa-se que os elementos são classificados de acordo com seu nível de deterioração e 67% dos pilares se encontram em estado crítico.

Tabela 6. Grau de deterioração dos elementos da família das vigas e pilares principais

Elemento	Gde	Nível de deterioração
P1	156,60	Crítico
P2	156,29	Crítico
P3	168,11	Crítico
P4	161,54	Crítico
P5	154,55	Crítico
P6	171,97	Crítico
P8	36,00	Médio
P9	24,00	Médio
VL1	33,00	Médio
VL2	7,38	Baixo
VL3	7,38	Baixo
VL4	36,00	Médio

A Tabela 7 apresenta o Gdf das famílias restantes da ponte e seus respectivos Fator de relevância estrutural.

Tabela 7. Grau de deterioração dos elementos da família das vigas e pilares principais

Família	Gdf	Fr
Guarda-corpo, guarda-rodas, pista de rolamento	102,61	1
Lajes e vigas secundárias	100,92	4
Vigas e pilares principais	233,62	5

O valor de Gd encontrado através da Equação 5 é de 167,44 e indica que a ponte está em um nível de deterioração crítico, sugerindo inspeção especial emergencial e planejamento de uma intervenção imediata.

Como observa-se na Figura 12, o pilar 6 é o que possui mais anomalias e em grau mais avançado. Também é perceptível que a maioria

delas se concentra na base dos pilares, indicando um possível esmagamento dos elementos devido à sobrecarga, apesar de ser algo incomum em pilares. O esmagamento do concreto é iniciado quando a tensão de compressão é superior à resistência, gerando um processo de dano irreversível (EVANGELHO, 2013).

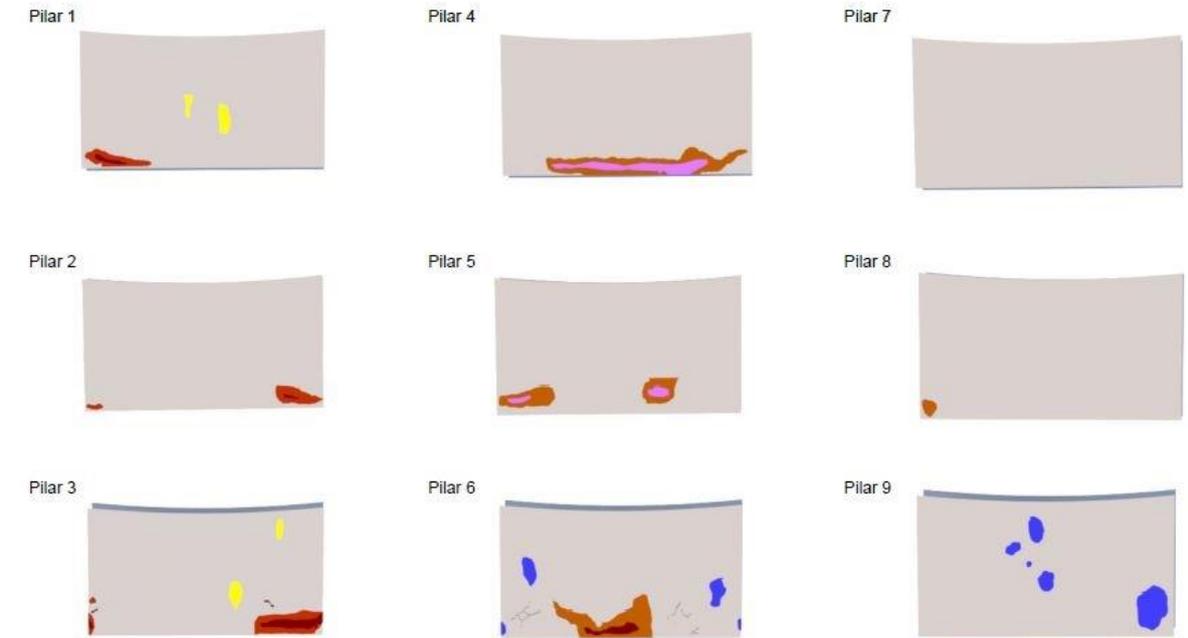


Figura 12. Mapeamento de manifestações patológicas nos pilares.

Também pode-se elencar a corrosão das armaduras como possíveis causas para a desagregação e deslocamento do concreto, devido à pressão que ela exerce no material. Helene (1986), define a corrosão como a interação destrutiva de um material com o meio ambiente. Neste caso, do aço da peça com o ambiente externo que a estrutura está localizada. Os agentes agressivos, como o gás carbônico, agem sobre o aço que acarretam na sua oxidação e, conseqüentemente, geram a corrosão da armadura. Esse processo faz com que a armadura aumente cerca de oito vezes o seu tamanho e gera pressão interna no concreto.

Nas vigas foi notável que a manifestação que mais as atinge são as eflorescências e infiltrações, como representado na Figura 13. Também foram encontradas algumas falhas de concretagens principalmente na parte inferior das vigas. A viga transversina 4 é uma das mais atingidas por manchas de umidade, pois o Córrego Brejo Comprido passa logo abaixo dela. Também pode-se citar a localização dos drenos do tabuleiro como causados de muitas infiltrações, pois eles despejam a água sobre esses elementos.

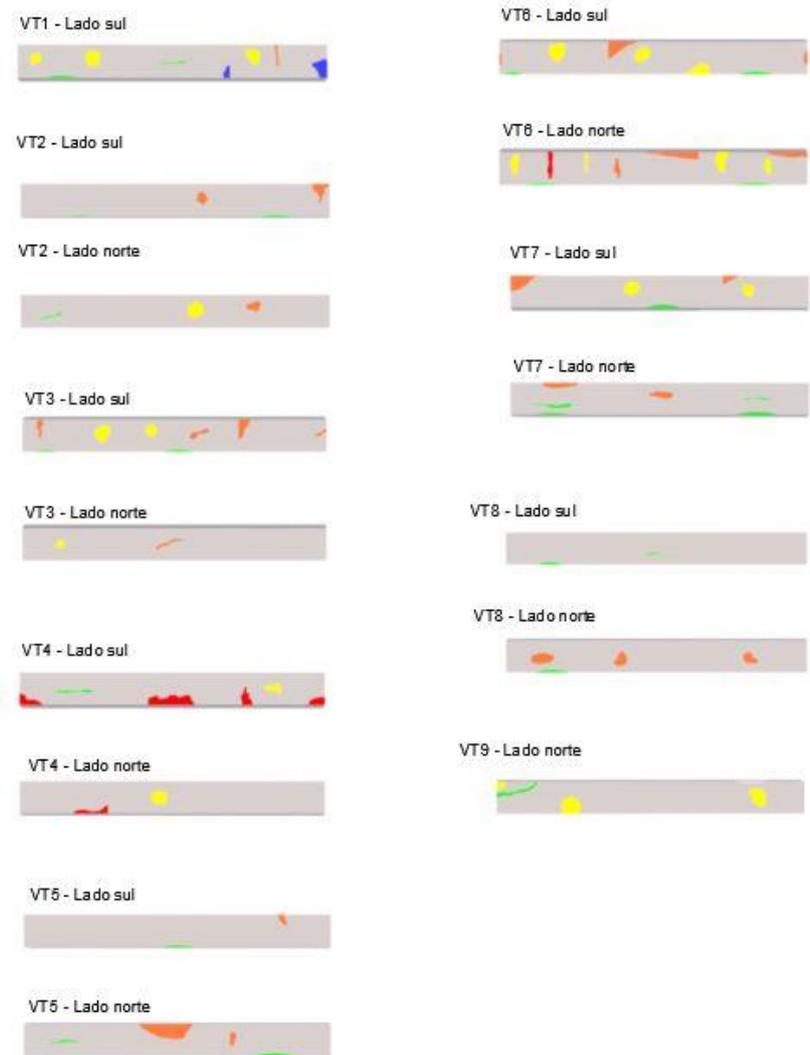


Figura 13. Mapeamento de manifestações patológicas nas vigas transversinas.

Já nas vigas longarinas, além das infiltrações e eflorescência, têm-se forte presença de manchas de bolor. Na Figura 14 pode-se notar principalmente nas vigas laterais, que tem maior contato com a umidade e

vegetação do meio ambiente e como já mencionado anteriormente, o bolor vem da proliferação de fungos na superfície do concreto.

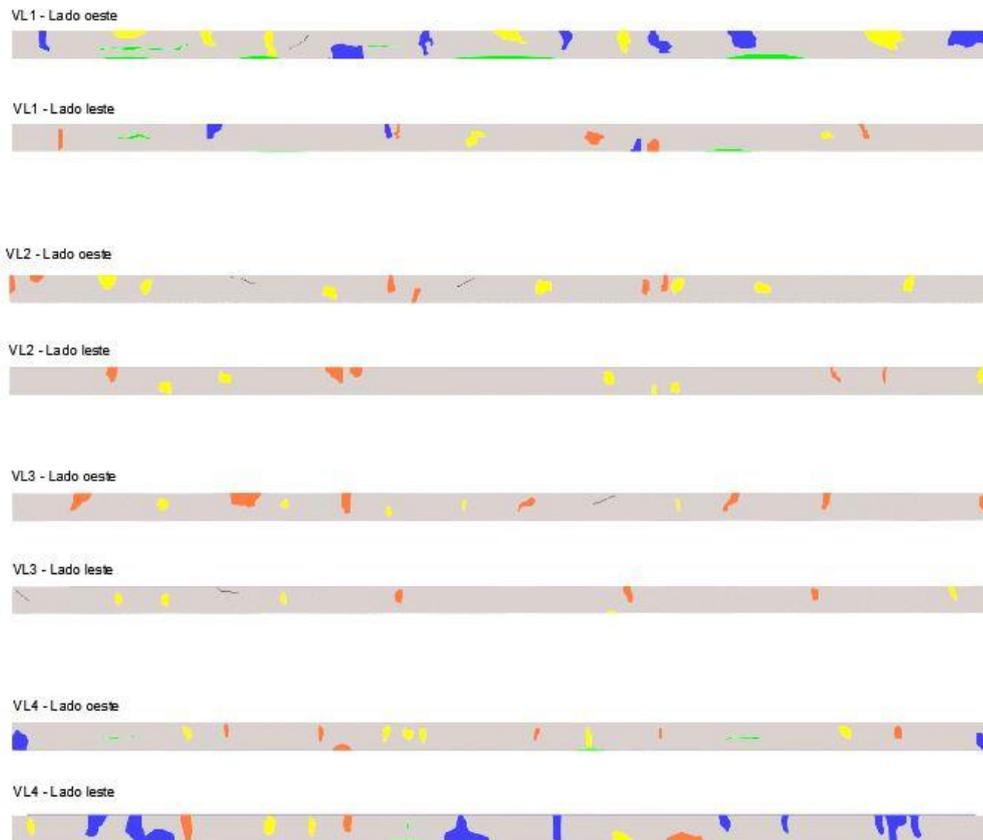


Figura 14. Mapeamento de manifestações patológicas nas vigas longarinas.

E por fim, o mapeamento das lajes indica que a predominância é de eflorescências e infiltrações, assim como nas vigas. Pode-se observar na Figura 15 que elas se concentram nas lajes centrais, que pode ser devido ao

Córrego que passa nessa região, ou devido à curvatura do pavimento que promove um empoçamento e, conseqüentemente, a penetração da água pela falha da impermeabilização.

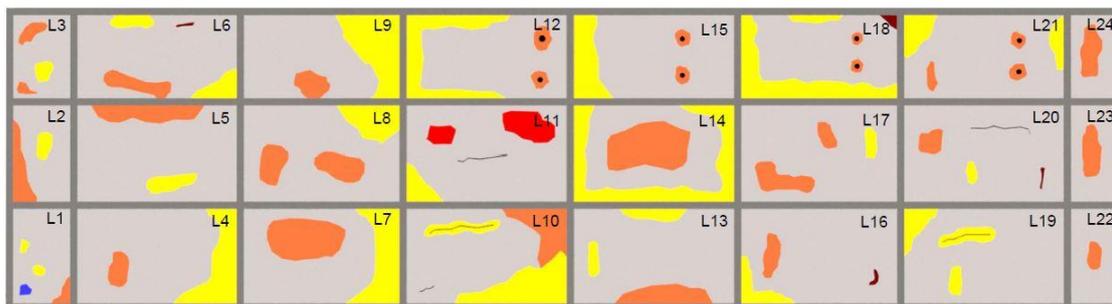


Figura 15. Mapeamento de manifestações patológicas nas lajes.

### Conclusão

Ao analisar os dados foi perceptível que a ponte se encontra em estado grave, que torna perigoso o tráfego e coloca em risco a vida das pessoas que passam pelo local.

A aplicação da metodologia permitiu quantificar numericamente o estado de degradação da Obra de Arte Especial. Onde, foi possível identificar valores de deterioração de 167,44, encontrando-se em estado crítico e precisa de intervenção imediata, a fim de

restaurar a estrutura e devolver a ela o desempenho estabelecido em projeto.

Os resultados apresentaram que aproximadamente 67% dos pilares da ponte estão em estado crítico, alguns apresentaram níveis de deterioração avançados, como rompimento das armaduras e perda significativa de seção de concreto. No entanto, nenhuma viga ultrapassou o nível médio de deterioração, o que contrastou com o resultado anterior.

Dentre as possíveis recuperações mais indicadas, pode-se citar o ajuste da impermeabilização para evitar a percolação da água pela estrutura e a recuperação das armaduras corroídas através da remoção do cobrimento, limpeza e pintura das barras. Entretanto, é notória a necessidade de recuperação e reforço da estrutura, pois apenas assim ela deixaria de ser uma estrutura em risco.

### Referências

ANDRADE, J. J. O. Durabilidade das estruturas de concreto armado: análise das manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco. 139f. Dissertação (Mestrado). Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1997.

CARVALHO, D. I. de.; PARENTE, D. C.; LIMA, S. N.; PARRIÃO, V. L. Análise das manifestações patológicas identificadas na ponte sobre o Rio Tocantins, Porto Nacional - TO. In: Congresso Brasileiro de Pontes E Estruturas, 9, 2016, Rio de Janeiro. Anais...Palmas, 2016.

CASTRO, E. K. Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado. 185f. Dissertação (Mestrado). Curso de Engenharia Civil. Universidade de Brasília. Brasília, 1994.

EVANGELHO, T. B. Consideração do esmagamento do concreto através do modelo de trincas sobrepostas. 71f. Dissertação (Mestrado). Curso de engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013.

EUQUERES, P. Metodologia de inspeção em estruturas de pontes de concreto armado. 168f. Dissertação (Mestrado). Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal de Goiânia. Goiânia, 2011.

FONSECA, R. P. A. Estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e propostas de manutenção. 213f. Dissertação (Mestrado). Curso de Engenharia Civil. Universidade de Brasília. Brasília, 2007.

HELENE, P. R. L. Corrosão em armaduras para concreto armado. 1 ed. São Paulo: Pini, 1986. 63p.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. 3. ed. São Paulo: Ibracon, 2008. 674p.

MOLIN, D. C. C. D. Fissuras em estruturas de concreto armado: análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no estado do Rio Grande do Sul. 220f. Dissertação (Mestrado). Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1988.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, Th. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. 1. ed. São Paulo: Pini, 1998. 257p.

TRINDADE, D. dos S. da. Patologia em estruturas de concreto armado. 88f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2015.

THOMAZ, E. Trincas em Edifícios: causas, prevenção e recuperação. 1. ed. São Paulo: Pini, 1989. 194p.

VERLY, R. C. Avaliação de metodologias de inspeção como instrumento de priorização de intervenções em obras de arte especiais. 178f. Dissertação (Mestrado). Curso de Engenharia Civil. Universidade de Brasília. Brasília, 2015.

VITÓRIO, J. A. P. Pontes rodoviárias: fundamentos, conservação e gestão. 1. ed. Recife: Crea, 2002. 83p.

**Capítulo 16**

**ALIMENTOS TRADICIONAIS: SEGMENTAÇÃO DE PRODUTORES DE BEIJU EM FEIRA DE SANTANA-BAHIA**

**Marcia Ângela Nori<sup>1</sup>**  
**Roger Darros Barbosa<sup>2</sup>**  
**Wânia Silveira da Rocha<sup>3</sup>**  
**Malaine Ferreira Magalhães<sup>4</sup>**  
**Igina Carvalho Silva<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>MSc. Profa. UEFS, Feira de Santana-BA, manori@uefs.br

<sup>2</sup>Dr. Prof. UNESP, São José do Rio Preto-SP, roger.darros@unesp.br

<sup>3</sup>Dra. Profa. UEFS, Feira de Santana-BA, wanciasrocha@uefs.br

<sup>4</sup>Graduanda em Eng. Alimentos, UEFS-BA, malaine.ferreira@gmail.com

<sup>5</sup>Bel. em Eng. Alimentos, UEFS-BA, iginacarvalho@gmail.com

**Introdução**

Alguns setores da agroindústria no Brasil e na Europa são caracterizados por um grande número de micro, pequenas e médias empresas (PME) e por uma indústria de baixa tecnologia, especialmente no setor de alimentos tradicionais, com as seguintes características, (1) suas principais etapas de produção são realizadas em uma determinada região geográfica de nível nacional, regional ou local, (2) são autênticos em sua receita (mistura de ingredientes), origem da matéria-prima e/ou processo produtivo, (3) estão comercialmente disponíveis por cerca de 50 anos ou mais, e (4) fazem parte do patrimônio gastronômico (GELLYNCK & KÜHNE, 2008).

Diante da crescente globalização do mercado de alimentos, a inovação é uma ferramenta estratégica essencial para que as pequenas e médias empresas possam alcançar vantagem competitiva. Isto também se aplica aos produtos alimentícios tradicionais, apesar da aparente controvérsia entre inovação e tradição (JORDANA, 2000) e o desafio que esta controvérsia envolve (AMILIEN et al., 2013; GELLYNCK & KÜHNE, 2008; JORDANA, 2000).

Segundo Linnemann et al. (2006), o sucesso da introdução de inovações em produtos alimentícios tradicionais depende de um bom entendimento das percepções, expectativas e atitudes dos consumidores em relação a esses produtos, e ainda, de suas atitudes em relação às inovações em produtos alimentícios tradicionais. Poucos estudos publicados se concentram particularmente em inovações de produtos alimentícios tradicionais (JORDANA, 2000), e apesar destes representarem uma grande contribuição ao desenvolvimento do turismo e promoção da

cultura local com a oferta de produtos seguros ao consumidor, esse potencial ainda não é reconhecido (VITORINO, 2017; SANTANA, 2016).

Estudo qualitativo envolvendo seis países europeus (Bélgica, Itália, Noruega, Polônia, França e Espanha) foi realizado para interpretar, avaliar e comparar o conceito de produtos alimentares tradicionais que originou a definição de que o alimento tradicional é um produto frequentemente consumido ou associado com celebrações e/ou estações específicas, normalmente transmitido entre gerações, feito com precisão de modo específico de acordo ao patrimônio gastronômico, com pouca ou nenhuma transformação/manipulação, distinto e conhecido por causa de suas propriedades sensoriais e associado a um determinado lugar, região ou país (GUERRERO et al., 2009).

O comportamento do consumidor brasileiro em relação aos produtos tradicionais ainda necessita ser estudado, mas em geral, mostra similaridades com o comportamento europeu em pesquisas de consumo de alimentos, como mostraram os resultados da pesquisa Brazil Food Trends 2020 realizada pela FIESP & ITAL (2010) sobre o consumo de alimentos, que revelou uma forte aderência da sociedade brasileira às tendências globais de consumo de alimentos.

No Brasil, o beiju, elaborado a partir da fécula de mandioca, se enquadra no conceito de alimento tradicional descrito por Guerreiro et al. (2009). Considerado um produto oriundo da cultura indígena milenar, é fabricado e consumido originalmente nas regiões norte e nordeste do Brasil e integra os principais

cardápios típicos regionais (EMPERAIRE, 2010).

Normalmente, a coordenação da fabricação é de responsabilidade das mulheres, conhecidas como bejuzeiras, vem sendo transmitida de geração em geração, sendo, para muitas famílias, a única fonte de recursos financeiros. Se por um lado, existe uma crescente valorização dos produtos tradicionais como o beiju, por outro, existe uma ameaça de vê-los sucumbir diante da resistência das novas gerações em realizar um ofício que vem ocasionando problemas de saúde, mais especificamente L.E.R. (Lesões de Esforço Repetitivo) ou doenças respiratórias, ocasionadas pela fumaça oriunda da queima de lenha (EMPERAIRE, 2010).

O beiju é caracterizado como um produto de baixa umidade cujo processo de fabricação consiste na dispersão de fécula de mandioca hidratada (40 a 45% de umidade base úmida) e eventualmente salgada, sobre uma superfície aquecida na faixa de temperatura de 218 a 270°C, formando gel rígido e opaco com umidade máxima de 10% em base úmida. A etapa de hidratação da fécula ocorre com excesso de água (40 a 60% de água na mistura) e por períodos de 2 a 12 horas em temperatura ambiente do (30 a 35°C). Ao término do período, ocorre a remoção da água sobrenadante por gravidade, a desaglomeração desta fécula hidratada com o auxílio de peneiras e opcionalmente, adição de sal (BEZERRA et al., 2018; NORI et al., 2019).

Nos processos mais tradicionais, o espalhamento e moldagem da fécula hidratada sobre a superfície aquecida é realizada de forma manual com auxílio de uma colher (BEZERRA et al., 2018). Em determinados processos que sofreram adequação para aumentar a produtividade, a dispersão e moldagem da fécula hidratada são realizadas com auxílio de peneiras para preenchimento dos moldes construídos em aço inoxidável vazados dispostos sobre a superfície aquecida (NORI et al., 2019).

A transferência de calor para a fécula de mandioca hidratada ocorre por condução térmica através do contato desta com a superfície (pedra, cerâmica ou metal), a qual, nos processos tradicionais, é adaptada em fornos de alvenaria, e aquecida pelo calor de combustão da lenha (EMPERAIRE, 2010). Durante o processamento térmico, a aglomeração das partículas dispersas da fécula hidratada moldada dá origem ao beiju que

possui estrutura amorfa com características de textura similares às de um biscoito, ou seja, crocante, de cor branca e opaca e de sabor neutro levemente salgado (NORI et al., 2019).

Os atributos sensoriais de textura crocante e cor branca foram observados no perfil sensorial do beiju elaborado por meio de Análise Descritiva Quantitativa – ADQ por equipe treinada (ROCHA et al., 2015). Entre os produtos comercializados em Feira de Santana-BA, existe uma grande variabilidade nos atributos individuais de aparência, sabor, cor e textura que necessitam ser identificados, descritos e quantificados. A obtenção do perfil sensorial dos beijus comercializados em Feira de Santana-BA poderá nortear a otimização dos processos de fabricação com maximização das características desejadas e ressaltadas pelos consumidores de beiju. Métodos sensoriais descritivos para determinar as características técnicas e de qualidade de alimentos processados têm sido amplamente utilizados (ARES et al., 2011; FARIA & YOTSUYANAGI, 2002; MEILGARD et al., 2004).

A técnica estatística de Análise de Cluster (AC) é utilizada para agrupar em um mesmo segmento as amostras que apresentam dados semelhantes, de acordo com as variáveis escolhidas formando grupos com características similares enquanto a técnica de Análise de Componente Principal (ACP) é utilizada para analisar as inter-relações entre um grande número de variáveis em termos de suas dimensões inerentes (HAIR et al., 2005; RENCHER, 2001). A Análise de Componentes Principais tem sido utilizada para analisar respostas a características físicas como uma forma bastante interessante para caracterização de produtos (MCEWAN, 1996; HAIR et al., 2005).

Portanto, este trabalho objetiva segmentar os produtores de beiju segundo as similaridades das características de processo e sensoriais do produto comercializado no município de Feira de Santana-BA visando subsidiar o desenvolvimento de equipamento e otimização de processos de fabricação do beiju.

## Material e Métodos

Os beijus para realização da análise sensorial foram adquiridos de 25 produtores nas feiras livres do município de Feira de Santana-BA e codificados para realização das análises.

O método do Perfil de Sabor com painel treinado, segundo descrito por Faria e

Yotsuyanagi (2002) e Meilgard et al. (2004), foi utilizado com escala de 5 pontos (ABNT, 1998), com termos variando de 1-nenhum a 5-muitíssimo, para determinar as atributos sensoriais do beiju no laboratório de Análise

Sensorial da Universidade Estadual de Feira de Santana - BA. Os atributos sensoriais observados na análise sensorial estão apresentados na Tabela 1, baseado nos estudos de Rocha et al. (2015).

Tabela 1. Atributos sensoriais

Aparência do produto	Sensações Olfativas (Aroma)	Sensação de Sabor	Textura
1. Uniformidade da Cor Branca	1. Característico	1. Gostoso / Saboroso	1. Crocância
2. Uniformidade da Cor Amarela	2. Estranho	2. Característico	2. Borrachudo
3. Presença de Pontos Escuros	3. Queimado	3. Estranho	3. Dureza
		4. Residual	4. Fraturabilidade

As informações relativas às de características de processo foram o tempo de hidratação da fécula (THF) com as opções menos de 1 hora; 1 hora; 2 horas ou 12 horas, e tipo de material condutor de aquecimento (TMCA): cerâmica; chapa metálica; pedra natural ou chapa metálica e cerâmica foram obtidas diretamente junto aos produtores artesanais no momento da compra.

Os dados obtidos através da análise de Perfil de Sabor e das informações de processo foram analisados estatisticamente, através da análise de variância ANOVA, para identificar aqueles que apresentaram diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ), sendo estes utilizados na Análise de Cluster (AC) através das opções Joining (Tree clustering - "dendograma") pelo método de Ward e de K-means, e na Análise de Componentes Principais (ACP) utilizando o software Statistica 7.0 a nível de significância de 5%, segundo descrito por Hair et al. (2005).

Com o objetivo de seguir a ética em pesquisa científica, este trabalho foi submetido à avaliação do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Estadual de Feira de Santana sob o protocolo número 098/2007 e CAAE 0104.0.050.000-07 em cumprimento ao Código de Bioética, a CNS 466/2012 e 510/2016.

### Resultados e Discussão

Embora tenham sido adquiridas amostras de beiju de 25 produtores, que comercializam seus produtos nas feiras livres da cidade de Feira de Santana-BA, a ausência de informação e/ou problemas com a aparência do produto ocasionou a exclusão de 11 amostras, contribuindo com este trabalho as amostras e os dados de 14 produtores com a codificação originalmente recebida.

O perfil de sabor foi elaborado por consenso da equipe treinada para os atributos:

uniformidade de cor branca, aroma característico, textura crocante, borrachudo, dureza e fraturabilidade. O atributo gostoso/saboroso foi excluído por ser um termo hedônico. Os demais atributos não obtiveram consenso.

Os resultados da ANOVA das 8 variáveis, sendo 2 características de processo e 6 atributos sensoriais obtidas no perfil de sabor, apresentam diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) para quatro variáveis, aroma característico, crocância, fraturabilidade e borrachudo. No entanto, as variáveis tempo de hidratação, processo, uniformidade da cor branca e dureza foram incluídas nas análises AC e ACP para verificar a influência de dados do processo e de textura, normalmente citados como relevantes em processos de secagem (NATH, 2007).

Os resultados obtidos pela AC pela opção Joining (Tree clustering - "dendograma") pelo método de Ward estão apresentados na Figura 1, cujo dendograma cortado na altura 5 da distância euclidiana gerou 3 distintos clusters. A segmentação dos produtores de beiju é observada no cluster 1 com sete produtores (3, 8, 9, 10, 15, 16, e 22) caracterizado pelas variáveis cor e borrachudo; cluster 2 com 3 produtores (2, 12 e 17) caracterizado pelas variáveis TMCA, aroma característico e dureza; e, cluster 3 com 4 produtores (1, 7, 23 e 24) caracterizado pelas variáveis THF, crocância e fraturabilidade.

O cluster 1 é composto majoritariamente por produtores caracterizados pelas variáveis de processo TMCA de chapa metálica e THF igualmente representada por menos de 1 hora e 12 horas. O cluster 2 é composto majoritariamente por produtores caracterizados pelas variáveis de processo TMCA de chapa metálica e THF de 12 horas. O cluster 3 é composto por produtores

com variáveis de processo TMCA de chapa metálica, pedra natural e cerâmica e THF menos

de 1 hora. Observa-se que as variáveis de processo se superpõem nos 3 clusters.

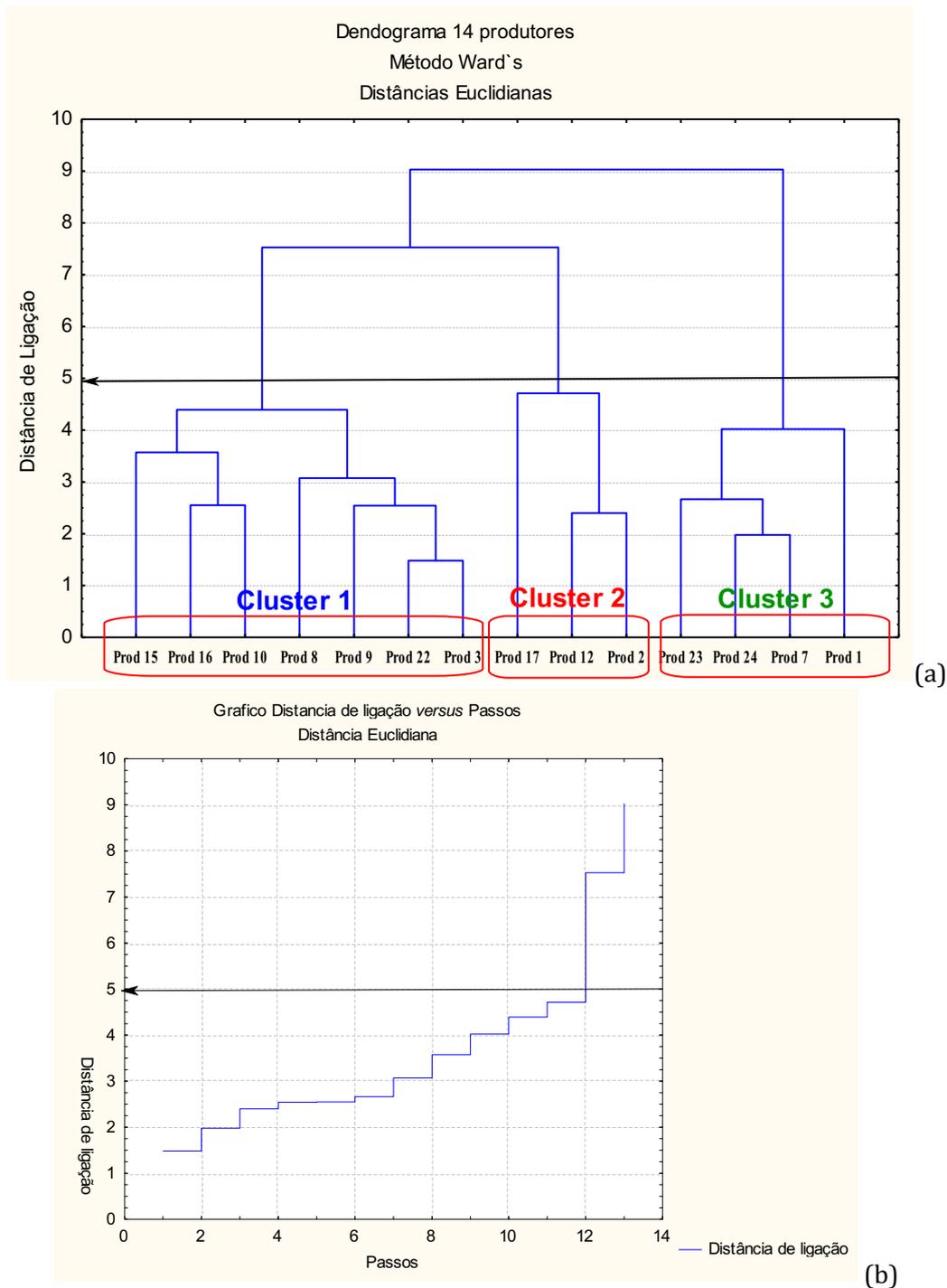


Figura 1. (a) Dendrograma pelo método de Ward, e (b) gráfico distância euclidiana 8 variáveis e 14 produtores.

Os resultados obtidos pela AC pela opção K-means considerando 3 clusters estão apresentados na Figura 2 com os valores médios dos clusters para cada variável analisada. A ANOVA, realizada com as médias das variáveis em cada cluster, indicam haver diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre pelo menos dois clusters para as variáveis aroma característico,

crocância, fraturabilidade e borrachudo. Conforme observa-se na Figura 2, o cluster 1 apresenta maior intensidade para a variável borrachudo, o cluster 2 apresenta maior intensidade para a variável aroma característico, enquanto o cluster 3 apresenta maior intensidade para as variáveis crocância e fraturabilidade.

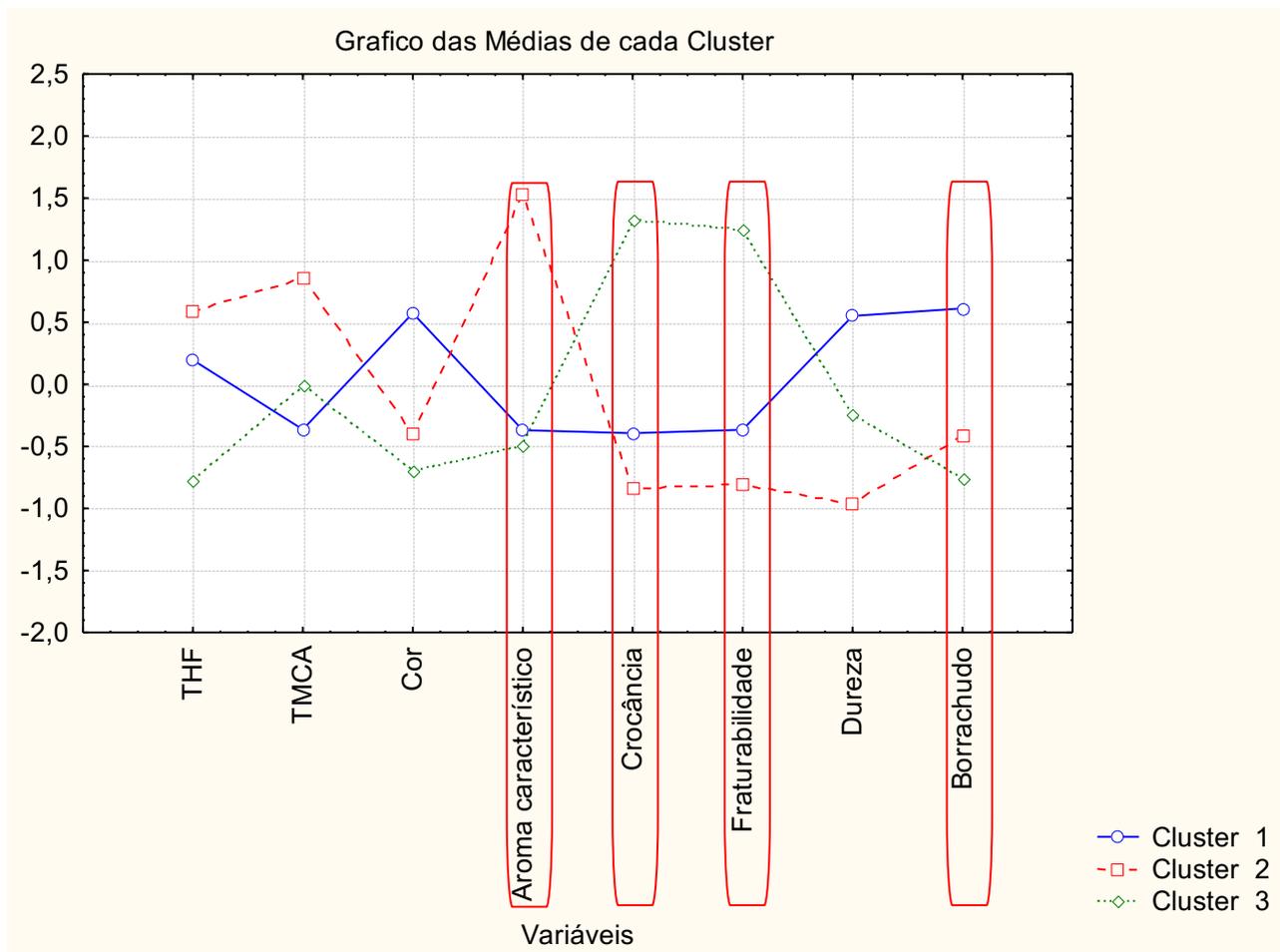


Figura 2. Gráfico das médias de cada cluster *versus* variáveis; em destaque as variáveis com diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ).

A Figura 3 apresenta o gráfico da ACP, na qual os dois primeiros componentes explicam aproximadamente 64% da variação dos dados. O primeiro componente (PC1) explica aproximadamente 42% da variação, sendo positivamente influenciado pela variável uniformidade da cor branca e em ordem decrescente pelos produtores 17, 15, 8 e 10. O PC1 é influenciado negativamente pela variável

crocância e em ordem decrescente pelos produtores 1, 24, 7 e 23. O segundo componente (PC2) explica 22% da variação dos dados, no qual a maior influência positiva é a variável dureza e em ordem decrescente pelos produtores 15, 10, 3, 9 e 22 enquanto a maior influencia negativa é realizada pela variável aroma característico e em ordem decrescente pelos produtores 2, 12, 17 e 23.

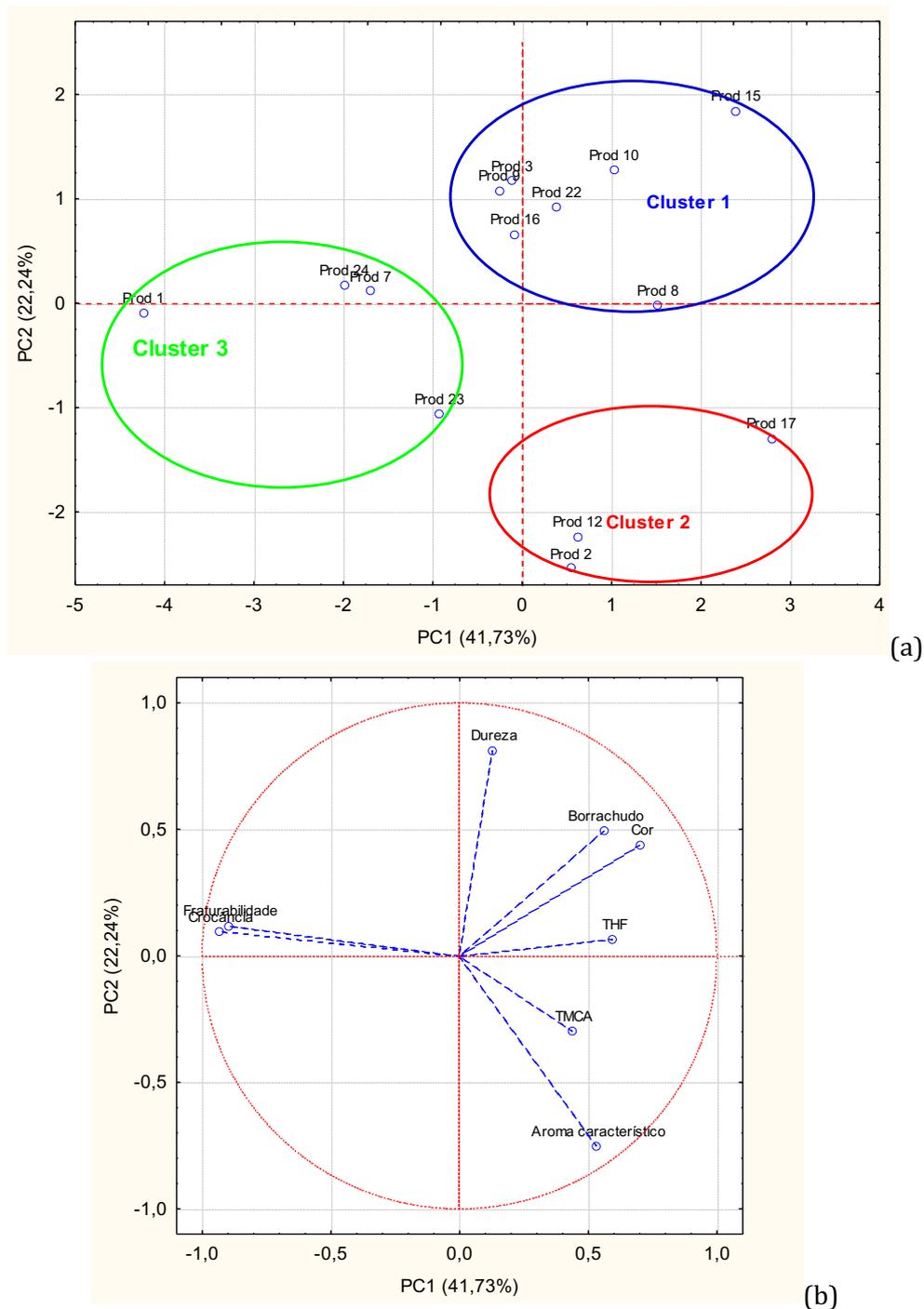


Figura 3. (a) Análise de Componentes Principais dos produtores (b) Gráfico ACP das variáveis.

### Conclusão

Foi possível segmentar os diferentes produtores segundo as variáveis sensoriais com aplicação das ferramentas estatísticas Análise de Cluster e Análise de Componentes Principais.

A partir das variáveis relativas aos atributos sensoriais foi possível identificar que os produtores do cluster 3 se destacaram como os que apresentam maior intensidade para as variáveis de crocância e fraturabilidade valorizadas pelo consumidor de beiju, enquanto os produtores do cluster 1 se destacaram como os que apresentaram maior intensidade para a

variável sensorial borrachudo, que é um atributo sensorial resultante da instabilidade de produtos amorfos.

Não foram detectadas diferenças significativas entre os produtores com relação às características de processo avaliadas no presente estudo, portanto, a segmentação dos produtores com base nas características de processo deve ser analisada em estudos adicionais relativamente às variações no tempo de hidratação da fécula e do material de construção da superfície de aquecimento do beiju.

## Referências

- AMILIEN, V.; HEGNES, A. W. The dimensions of traditional food in reflexive modernity: Norway as a case study. *Journal Science Food Agriculture*, v.93, p.3455-3463, 2013.
- ARES, G.; VARELA, P.; RADO, G.; GIMENÉZ, A. Identifying ideal products using three different consumer profiling methodologies. Comparison with external preference mapping. *Food Quality and Preference*, v.22, p.581-591, 2011.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Escalas utilizadas em análise sensorial de alimentos e bebidas – NBR 14141. Rio de Janeiro: 1998. 3p.
- BEZERRA, A. B.; DIAS, F. H. C.; OLIVEIRA, M. R. T.; ANDRADE, T. H. L.; PEREIRA, A. A. Descrição do processamento de elaboração do beiju em agroindústria do município de Mari-PB. In: *Simpósio Nacional de Estudos para a Produção Vegetal no Semiárido*, 1, 2018, Campina Grande. Anais...Campina Grande, 2018.
- EMPERAIRE, L. (org.). CUNHA, M. C. DA; EMPERAIRE, L.; KATZ, E.; OLIVEIRA, A. G. DE; SANTILLI, J.; VELTHEM, L. H. van. Dossiê de registro do Sistema Agrícola Tradicional do Rio Negro, ACIMRN/IPHAN/IRD/Unicamp-CNPq, Brasília, 2010. 235p. Disponível em: <http://www.iphan.gov.br>.
- FARIA, E. V.; YOTSUYANAGI, K. Técnicas de Análise Sensorial. 1ª ed. Campinas: ITAL/LAFISE, 2002. 116p.
- FIESP & ITAL. *Brazil Food Trends 2020*. 2010. Disponível em: <http://www.brazilfoodtrends.com.br/>. Acesso em: 9 de novembro de 2019.
- GELLYNCK, X.; KÜHNE, B. Innovation and collaboration in traditional food chain networks. *Journal on Chain and Network Science*, v.8, n.2, p.121-129, 2008.
- GUERRERO, L.; GUARDIA, M. D.; XICOLA, J.; VERBEKE, W.; VANHONACKER, F.; ZAKOWSKA-BIEMANS, S. Consumer-driven definition of traditional food products and innovation in traditional foods. A qualitative cross-cultural study. *Appetite*, v.52, n.2, p.345-354, 2009.
- HAIR JR., J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. *Análise multivariada de dados*. 6.ed. Porto Alegre, Bookman, 2009. 688p.
- JORDANA, J. Traditional foods: Challenges facing the European food industry. *Food Research International*, v.33, p.147-152, 2000.
- LINDEMANN, A. R.; BENNER, M.; VERKERK, R.; VAN BOEKEL, M. A. J. S. Consumer driven food product development. *Trends in Food Science & Technology*, v.17, n.4, p.184-190, 2006.
- MCEWAN, J. A. Preference mapping for product optimization. *Science and Technology*, v.16, p.71-102, 1996.
- MEILGAARD, M.; CIVILLE, G. V.; CARR, B. T. *Sensory evaluation techniques*. New York: Boca Raton, 2004. 466p.
- NATH, A.; CHATTOPADHYAY, P. K. Optimization of oven toasting for improving crispness and other quality attributes of ready to eat potato-soy snack using response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, v.80, p.1282-1292, 2007
- NORI, M. A.; ROCHA, W. S.; BARBOSA, R. D.; REIS, S. D. Textura de beiju sob a influência do sal e da umidade relativa. In: *Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados ENEMP*, 39, 2019, Belém. Anais...Campinas, GALOÁ, 2019.
- RENCHER, A. C. *Methods of multivariate analysis*. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 2002. 740p.
- ROCHA, W. S.; NORI, M. A.; LINS, M. Sensory Profile of Beiju. In: *Pangborn Sensory Symposium*, 11, 2015, Gothenburg. Anais... Gothenburg, Sweden, 2015.
- VITORINO, A. C. S. *A Experiência gastronômica em turismo e a sua relação com a hospitalidade no meio rural: caso de estudo – Concelho da Sertã*. 113f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Produtos de Turismo Cultural). Instituto Politécnico de Tomar. Tomar, 2017.

## **Curriculum dos Organizadores**

**Aline Costa Ferreira:** Possui graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande (2007), Especialista em Desenvolvimento Sustentável para o Semiárido Brasileiro, Especialista em Gestão da Agroindústria Sucroalcooleira, Mestre em Irrigação e Drenagem pela UFCG (2009) e Doutora em Irrigação e Drenagem pela UFCG, Professora das disciplinas de Fotogrametria e Desenho técnico do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar/CCTA da Universidade Federal de Campina Grande/UFCG. Experiência na área de Engenharia Agrícola, com ênfase em Engenharia Agrícola, atuando principalmente nos seguintes temas: Desenho Técnico, Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento, Conservação do Solo e da Água, Manejo Integrado de Bacias, Desenvolvimento Sustentável, Barragem Subterrânea, Reuso de Águas, Fitorremediação, Irrigação e Drenagem, Técnicas Alternativas de Drenagem. Consultora Ad hoc do CONFEA como organizadora do Congresso Técnico Científico da Engenharia e Agronomia – CONTECC.

**Dermeval Araújo Furtado:** Possui graduação em Zootecnia pela Universidade Federal da Paraíba (1980), mestrado em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (1987) e doutorado em Recursos Naturais pela Universidade Federal da Paraíba (2002). Atualmente é professor titular da Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba e professor do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da UFPB. Tem experiência na área de Zootecnia e Engenharia Agrícola, com ênfase em Manejo de Animais, atuando principalmente nos seguintes temas: ambiência, caprinos, semiárido, conforto térmico animal e aves. No período de maio de 2010 a outubro de 2014 foi Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFCG. Consultor Ad hoc do CONFEA como organizador do Congresso Técnico Científico da Engenharia e Agronomia – CONTECC.

**Paulo Roberto Megna Francisco:** Pós Doutor em Ciência do Solo pela UFPB. Doutor em Engenharia Agrícola – Irrigação e Drenagem pela UFCG. Mestre em Manejo de Solo e Água pelo CCA/UFPB. Graduado pela UNESP como Tecnólogo Agrícola com especialização em Mecanização. Graduando em Engenharia Agrícola pela UFCG. Participa de Projetos de Pesquisa e Extensão juntamente com a EMBRAPA-Algodão, UFPB-Campus João Pessoa, UFCG-Campus Sumé, IFPB-Campus Campina Grande e Campus Picuí. Ministrou as disciplinas de Mecanização Agrícola, Máquinas e Motores Agrozootécnicos e Máquinas e Motores Agrícolas no CCA/UFPB. Atualmente presta consultoria para o INCRA/PB na realização de PDA's. Consultor Ad hoc do CONFEA como organizador do Congresso Técnico Científico da Engenharia e Agronomia – CONTECC.



**Portal Tecnológico  
de Divulgação Científica**  
Eventos, Pesquisas e Inovação



**CNPq**  
Conselho Nacional de Desenvolvimento  
Científico e Tecnológico



978-85-60307-52-4