



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PROCESSOS
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE - PB**



**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE SECAGEM
PARA SANGUE BOVINO PROVENIENTE DE
ABATEDOUROS**

SILVIO ALVES MOREIRA

**CAMPINA GRANDE - PARAÍBA
Fevereiro, 2013**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PROCESSOS
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE - PB



Área de Concentração: Desenvolvimento de Processos

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE SECAGEM PARA SANGUE BOVINO PROVENIENTE DE ABATEDOUROS

Tese apresentada à coordenação do curso de Doutorado em Engenharia de Processos da Universidade Federal de Campina Grande – PB, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Processos.

Autor: Silvio Alves Moreira

Orientadores: Prof^ª Dra. Odelsia Leonor Sánchez de Alsina

Prof. Dr. Osvaldo Soares da Silva

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

Fevereiro, 2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

M838d Moreira, Sílvio Alves.
Desenvolvimento de um sistema de secagem para sangue bovino
proveniente de abatedouros / Sílvio Alves Moreira. – Campina Grande,
2013.
80 f. : il. color.

(Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de
Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2013.

"Orientação: Prof.^a Dr.^a Odelsia Leonor Sánchez de Alsina, Prof. Dr.
Oswaldo Soares da Silva".
Referências.

1. Secador Industrial. 2. Secagem por Contato Direto. 3. Proteína.
4. Atomização. I. Alsina, Odelsia Leonor Sánchez de Alsina. II. Silva,
Oswaldo Soares da. III. Título.

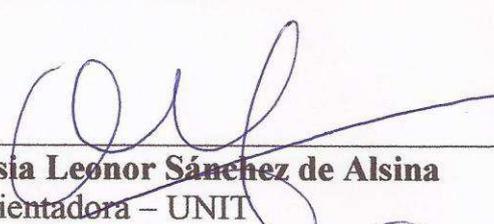
CDU 66.047(043)

Desenvolvimento de um sistema de secagem para sangue bovino proveniente de abatedouros

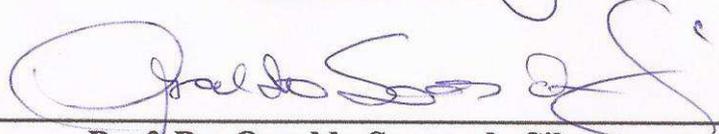
Tese de Doutorado de Silvio Alves Moreira

Aprovada em: 28 de fevereiro de 2013

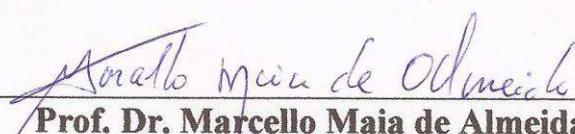
Banca Examinadora



Prof.ª Dr.ª Odelsia Leonor Sánchez de Alsina
Orientadora – UNIT



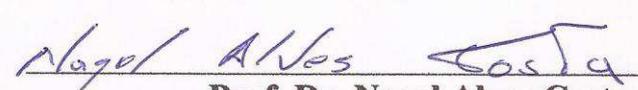
Prof. Dr. Osvaldo Soares da Silva
Orientador – UATA/UFCG



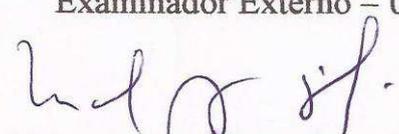
Prof. Dr. Marcello Maia de Almeida
Examinador Externo – DESA/UEPB



Prof.ª Dr.ª Josilene de Assis Cavalcante
Examinadora Externa – UATA/UFCG



Prof. Dr. Nagel Alves Costa
Examinador Externo – UAEQ/UFCG



Prof. Dr. Marcelo Bezerra Grilo
Examinador interno – CCT – UFCG

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Severino e Salete
A meus filhos e esposa, Livia Maria,
Antônio Lucas e Ana Maria

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me abençoar todos os dias fazendo-me alcançar os meus objetivos;

Aos meus orientadores Dr^a Odelsia Leonor Sánchez de Alsina e Dr. Osvaldo Soares da Silva;

Aos professores Dr^a Patrícia Araújo Brandão, Dr^a Maria de Fátima Dantas de Medeiros, Dr^a Josilene de Assis Cavalcante, Dr. Marcelo Maia de Almeida, Dr. Marcelo Bezerra Grilo e Dr. Nagel Alves Costa, que tiveram a dedicação de analisar esta tese.

A empresa Sabor do Sertão Indústria e Comércio de Alimentos LTDA representada pelo Sr. Clodoaldo Andrade de Amorim, pelo fornecimento de leite in natura e análises físico-químicas;

A Prefeitura Municipal de Patos em especial a Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Agricultura e Desenvolvimento Sustentável representada pelo Ex. Prefeito Sr. Nabor Wanderley da Nóbrega Filho, atual Prefeita Sra. Francisca Mota e o Sr. Secretário Sebastião dos Santos Lima pela disponibilidade do Matadouro Público, também agradeço à coordenadora do Matadouro Sra. Cláudia e funcionários pelo apoio;

Aos professores Dr. Aderbal Marcos de Azevedo Silva ex. Coordenador do curso de Pós Graduação em Zootecnia, Dra. Patrícia representante do Curso de Graduação em Medicina Veterinária do Centro de Saúde e Tecnologia Rural da Universidade Federal da Paraíba, Campus de Patos – PB pelo apoio e experimentos com o sangue em pó;

À CAPES pelo apoio através de bolsa de estudos possibilitando o andamento do projeto;

Ao Ex Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos Dr Flavio Luiz Honorato, ao Coordenador Dr. Antônio Gilson Barbosa de Lima.

A Natureza Das Coisas

Se avexe não
Amanhã pode acontecer tudo
Inclusive nada
Se avexe não
A lagarta rasteja até o dia
Em que cria asas
Se avexe não
Que a burrinha da felicidade
Nunca se atrasa
Se avexe não
Amanhã ela para na porta
Da sua casa
Se avexe não
Toda caminhada começa
No primeiro passo
A natureza não tem pressa
Segue seu compasso
Inexoravelmente chega lá
Se avexe não
Observe quem vai subindo a ladeira
Seja princesa ou seja lavadeira
Pra ir mais alto vai ter que suar.

Accioly Neto

SUMÁRIO

Lista de Figuras	
Lista de tabelas	
Nomenclatura	
Resumo	
Abstract	
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos	2
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
2.1 Interesse econômico, social e ambiental	3
2.2 Usos e aplicações do sangue bovino	4
2.3 Produção de sangue bovino em pó integral	5
2.3.1 Aspectos gerais	5
2.4 Secadores por atomização	7
2.4.1 Atomização	8
2.4.2 Configuração do secador	10
2.4.3 Associação de métodos	12
2.5 Estado da Arte	13
2.5.1 Equipamentos desenvolvidos	13
2.5.2 Controle e automação	15
2.5.3 Ensaio realizados	16
3. MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1 Aparato experimental	20
3.2 Matérias primas	20
3.2.1 Água potável	20
3.2.2 Leite e polpa de goiaba	20
3.2.3 Maltodextrina	21
3.2.4 Ácido cítrico e citrato de sódio	21
3.2.5. Sangue	21
3.3 Caracterização físico-química das matérias-primas	21

3.4 Variáveis do processo	22
3.4.1 Vazão de alimentação	22
3.4.2 Fração de sólidos na suspensão	22
3.4.3 Umidade do pó	22
3.4.4 Produção de pó	22
3.4.5 Rendimento	23
3.4.6 Rendimento de pó no ciclone	23
3.4.7 Eficiência de produção de pó	23
3.5 Metodologia de projeto do sistema de secagem	23
3.5.1 Projeto do sistema de secagem	24
3.5.2 Ensaio preliminares e definição de parâmetros	31
3.6. Ações de melhorias	32
3.6.1 Primeira ação de melhoria	32
3.6.2 Segunda ação de melhoria	34
3.6.3 Terceira ação de melhoria	35
3.6.4 Quarta ação de melhoria com avaliação do processo e avaliação nutricional do sangue em pó	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1 Construção do sistema de secagem	39
4.2 Ensaio preliminares e definição de parâmetros	40
4.3. Primeira ação de melhoria	42
4.4. Segunda ação de melhoria	45
4.5. Terceira ação de melhoria	47
4.6 Quarta ação de melhoria com avaliação do processo e avaliação nutricional do sangue em pó	50
4.6.1. Avaliação do processo de secagem	51
4.6.2. Avaliação nutricional do sangue em pó	56
4.6.3 Evolução do processo	58
4.6.4 Custo do equipamento	59
5. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

LISTA DE FIGURAS

- Figura 2.1 - Diagrama esquemático dos fatores que afetam secagem por atomização.
- Figura 2.2 - Diagrama esquemático de um secador por atomização em cocorrente.
- Figura 2.3 - Diagrama de operação contracorrente.
- Figura 2.4 - Diagramas dos modos de operação contracorrente e cocorrente.
- Figura 2.5 - Processo convencional de obtenção de leite em pó com associação de métodos.
- Figura 2.6 - Esquema do aparato experimental para secagem das suspensões.
- Figura 2.7 - Equipamento de secagem das suspensões de Zinco-espirulina.
- Figura 2.8 - Evolução das variáveis de processo para uma vazão de barbotina de 9,5 m³/h.
- Figura 2.9 - Evolução semanal da umidade do pó após a implementação do controle.
- Figura 3.1 - Amostras para determinação de umidade em forno micro-ondas.
- Figura 3.2 - Fluxograma da metodologia de construção do secador.
- Figura 3.3 - Croqui da câmara de secagem.
- Figura 3.4 - diagrama elétrico trifilar das ligações do quadro de comando.
- Figura 3.5 - fluxograma para determinação dos parâmetros do relé programável.
- Figura 3.6 - fluxograma ações de melhorias do processo de secagem por atomização.
- Figura 4.1 - Câmara de secagem.
- Figura 4.2 - Quadro de comando montado.
- Figura 4.3 - Relé programável modelo CLW-02/20HR-A.
- Figura 4.4 - Algoritmo em diagrama de blocos lógicos para controle de vazão e controle de temperatura.
- Figura 4.5 - Diagrama de programação com temporizador da bomba no modo oscilador.
- Figura 4.6 - Comportamento da vazão de água e da vazão de leite *in natura*, vazão inicial com água, e vazão com leite integral 14% de sólidos.

Figura 4.7 - Curvas da temperatura no secador durante o experimento 4.

Figura 4.8 - Modificação na posição dos ciclones.

Figura 4.9 - Projeto final da câmara de secagem.

Figura 4.10 - Sangue em pó obtido por atomização.

Figura 4.11 - Diagrama de Pareto para a variável eficiência de produção de sangue em pó.

Figura 4.12 - Diagrama de Pareto para a variável temperatura do ar de secagem.

Figura 4.13 - Efeito da variável umidade do sangue em pó.

Figura 4.14 - Efeito da variável rendimento de coleta de pó no secador.

Figura 4.15 - Diagrama de Pareto para o rendimento de coleta de pó no ciclone.

Figura 4.16 - Superfície de resoste para o rendimento de coleta de pó no ciclone.

Figura 4.17 - Evolução dos resultados das médias das variáveis.

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Usos e Aplicações do Sangue Bovino.

Tabela 2.2 - comparação do conteúdo de proteínas e a digestibilidade relativa entre diversos tipos de farinhas.

Tabela 2.3 - Tamanho na atomização.

Tabela 2.4 - Principais parâmetros de processo utilizados por diversos autores.

Tabela 3.1 - Cálculo para o dimensionamento de um secador spray dryer em co-corrente.

Tabela 3.2 - Matriz do planejamento fatorial fracionado 2^{4-1} com três pontos centrais.

Tabela 3.3 - Composições do sangue bovino coletado no matadouro público de Patos – PB.

Tabela 3.4 - Valores codificados e originais para produção de sangue bovino em pó.

Tabela 4.1 - Caracterização físico-química do leite bovino.

Tabela 4.2 - Parâmetros de processo.

Tabela 4.3 - Matriz resposta do planejamento fatorial fracionado 2^{4-1} com três pontos centrais.

Tabela 4.4 - Especificações técnicas de um secador por atomização.

Tabela 4.5 - Composição do sangue em pó obtido.

Tabela 4.6 - Resultados dos experimentos de secagem do sangue bovino.

Tabela 4.7 - Efeito das variáveis independentes e respostas.

Tabela 4.8 - Médias de Consumo de Ração, Ganho de Peso e Conversão Alimentar, utilizando níveis de sangue bovino em pó na ração de codornas europeias (*Coturnix coturnix*), na fase inicial, entre 8 e 21 dias de idade.

Tabela 4.9 - Gastos realizados para a confecção do equipamento.

NOMENCLATURA

CA	conversão alimentar	kg.kg ⁻¹
CR ₁	consumo de ração	g.kg ⁻¹ .dia ⁻¹
\bar{d}	diâmetro das gotas	cm
E	eficiência	%
EXT ℓ	extrato seco total do leite pasteurizado	%
EXT ℓ _{pó}	extrato seco total do leite em pó	%
G ℓ	gordura base seca no leite	%
G ℓ _{pó}	gordura base seca no leite em pó	%
GP	ganho de peso	g.dia ⁻¹
ma	massa de água	g
m ℓ	massa de leite	g
m ℓ _{pó}	massa de leite em pó	g
ms	massa de sangue	g
ms _{pó}	massa de sangue em pó	g
mss	massa seca do sangue	%
mss _{pó}	matéria seca do sangue em pó	%
P ℓ	proteína do leite	%
P _{at}	pressão de atomização	bar
PR _{pó}	produção relativa de pó	%
r	rotação do rotor do soprador do ar de secagem	rpm
Q _{BP}	vazão da bomba peristáltica	m ³ .h ⁻¹
QE	vazão mássica efetiva	g.min ⁻¹
QM	vazão mássica média	g.min ⁻¹
Q _a	vazão mássica de ar	L.min ⁻¹
Q _L	vazão volumétrica de líquido	L.min ⁻¹
Q _{pó}	vazão mássica de pó recuperado	g.min ⁻¹

t_1	retardo energização de R2	s
t_2	retardo energização BP e S_s	s
t_3	retardo desenergização BP	s
t_4	retardo energização BP	s
t_5	retardo desenergização S_{at}	s
T_e	temperatura do gás na entrada da câmara de secagem	°C
T_{ep}	temperatura programada do gás na entrada da câmara de secagem	°C
t_p	tempo de processamento	s
T_s	temperatura na saída da câmara de secagem	°C
T_{sp}	temperatura programada na saída	°C
$U_{pó}$	umidade e voláteis do leite em pó	%
V_s	vazão do ar de secagem	m^3
V	vazão molar do vapor	$mol.s^{-1}$
V'	vazão molar do gás não condensável	$mol.s^{-1}$
L	vazão molar do líquido	$mol.s^{-1}$
Vr	velocidade relativa ar-líquido no bico atomizador	

Letras Gregas

α	tensão superficial do líquido	$dina.cm^{-2}$
μ	viscosidade	cP
ρ	densidade do líquido	$g.cm^{-3}$
σ	tensão superficial	$dina.cm^{-2}$
ω		rpm

RESUMO

No planeta em que vivemos, hoje com mais de sete bilhões de habitantes, é necessário rever conceitos para melhorar o mecanismo de produção e conservação de alimentos e evitar altos custos com tratamento de efluentes gerados por desperdício de matéria. Um exemplo significativo é o caso dos abatedouros de animais, especialmente bovinos, que lançam o sangue nos corpos de água causando poluição ambiental. Para minimizar estes impactos, foi desenvolvido um sistema automatizado de secagem por atomização para produção de proteína animal com o aproveitamento do sangue bovino. O sistema de secagem automático, construído com materiais de baixo custo e fácil aquisição, em módulos com possibilidade de alterações na configuração, apresenta capacidade de evaporação de $2,6 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ de água e facilidade na operação. Os ensaios preliminares forneceram informações para atuação nas principais causas da baixa eficiência no processo de secagem por atomização. Com as ações adotadas foram obtidos resultados satisfatórios para a proposta do projeto. As principais características do sangue em pó obtido foram: boa fluidez; granulometria adequada à reconstituição e condições para armazenamento sem a petrificação do produto com a conservação da coloração. O sangue em pó com umidade em base úmida de 4,7% apresenta uma eficiência de produção de 67% e um rendimento de coleta de pó de 77%. A principal variável controlada foi a temperatura de saída, pela manipulação da vazão da suspensão, que têm influência direta na umidade do pó obtido.

Palavras-chave: controle de processos, sustentabilidade, proteína animal, atomização.

ABSTRACT

Nowadays, with more than seven billion inhabitants living in the planet it is necessary to revise concepts to improve efficiency in the mechanisms of food production within the food chain and avoid high costs of wastewater treatment and high concentrations of organic matter. A significant example is the case of animals' slaughterhouses, especially the bovine, that shed the blood into water bodies causing environmental pollution. To minimize these effects, an automated spray drying system was developed for animal protein production making use of the bovine blood. The automatic drying system, built with materials of cost low and acquisition easy in modules with a possibility of changes in layout, points out water evaporation capacity of $2.6 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ and operation ease. Preliminary runs provided information to operate the main causes of low efficiency in the process of spray drying process. With the adopted actions satisfactory results were obtained for the project proposes. The main results were a blood powder with a particle size suitable for reconstitution, good fluidity and storage conditions for the product preserving its color without petrifying it. The blood powder with moisture content on a wet basis of 4.7% has a production efficiency of 67% and a powder collection efficiency of 77%. The main controlled variable was the output temperature through the suspension flow rate manipulation, which has a direct influence on the moisture content of the obtained powder.

Kew-words: process control; sustainability; animal protein; atomization

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Atualmente problemas originados pela falta de aproveitamento e reciclagem de subprodutos de processos industriais têm causado sérios danos ao meio ambiente, como propagação de doenças, desequilíbrios ecológicos pelo excesso de minerais e compostos nitrogenados nos corpos de água, aumento do efeito estufa pela liberação de dióxido de carbono e metano na atmosfera.

Os efeitos são redução na qualidade de vida dos habitantes do planeta, como a difusão de odores desagradáveis na atmosfera provocando mal estar às pessoas que inalam diretamente os gases, possibilidade de formação de chuva ácida e aumento da radiação dos raios ultravioleta pela redução da camada de ozônio, provocando problemas de pele em pessoas e animais. Por outro lado os desperdícios de energia e nutrientes provocam o empobrecimento da cadeia alimentar, causando fome e miséria.

Os problemas ambientais existentes nas unidades de abate de animais pela emissão de efluentes com sangue nos corpos de água têm sido bastante divulgados, necessitando de soluções economicamente viáveis, pois estes problemas são agravados em regiões com baixos índices de desenvolvimento.

O sangue bovino proveniente de animais abatidos em abatedouros sob fiscalização constitui um resíduo de alto valor agregado, sobretudo em virtude da quantidade de proteínas, com alto teor de aminoácidos essenciais, vitaminas e sais minerais e por causa do seu alto coeficiente de digestibilidade (RENUNCIO, 1997).

A secagem por atomização é uma solução viável na obtenção de produtos de alto valor agregado mantendo a qualidade nutricional, visual e organoléptica. É um processo no qual há remoção de água ou qualquer outro líquido de uma mistura sólido-líquido. Quando aplicada a secagem de suspensões ricas em açúcares, proteínas e princípios ativos, tais como sucos, polpas de frutas, mel, derivados de amido hidrolisado, leite, sangue e extratos de plantas medicinais apresenta um excelente potencial econômico. A transformação desses produtos em pequenas partículas finamente divididas e secas resulta em redução de volume e, geralmente, em aumento da vida de prateleira do produto e facilidade no transporte (CANO-CHAUCA *et al.*, 2005). O produto resultante da técnica de secagem por atomização pode ser apresentado

de várias formas, tais como pós, grânulos ou aglomerados, dependendo das propriedades físicas e químicas da matéria prima, do projeto do secador e da operação (ANDRADE e FLORES, 2004).

Muitos estudos sobre secadores fluidodinamicamente ativos (leito de jorro, leito fluidizado e *spray drying* etc) são realizados envolvendo operação manual de equipamentos periféricos e instrumentação, o que pode acarretar problemas na reprodutibilidade de medidas que dependem da sensibilidade do operador. Os desvios nas medidas podem dificultar a análise dos resultados e comprometer conclusões importantes sobre o processo. A modelagem e simulação de processos têm sido utilizadas como uma ferramenta para facilitar o controle. A partir da modelagem e simulação da secagem de leite *in natura* em *spray dryer*, Birchal e Passos (2005) conseguiram controlar e otimizar o secador.

O aproveitamento do sangue bovino de abate constitui assunto de relevante importância econômica, social e ambiental para os municípios brasileiros. No município de Patos/PB são desperdiçados cerca de 180.000 L de sangue bovino por ano. De um lado se tem elevada parcela da população padecendo de carências alimentares básicas. Por outro lado, tem--se um injustificável desperdício de produtos que são fontes riquíssimas de proteínas e vitaminas. Diante do exposto, esse trabalho tem os seguintes objetivos.

1.1 Objetivos

Objetivo Geral

Desenvolver um sistema de secagem por atomização de sangue bovino, automatizado e de baixo custo, para controle indireto da umidade do produto final, baseado no controle da temperatura de saída, manipulando-se a vazão de alimentação.

Objetivos Específicos

- Projetar e construir e testar um secador por atomização;
- Projetar, construir e instalar um quadro de comandos para controle das variáveis de operação;
- Desenvolver algoritmo para controle operacional do secador;
- Secar leite *in natura* e sangue bovino;
- Realizar melhorias do processo de secagem de sangue bovino por atomização.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Interesse econômico, social e ambiental

O sangue bovino, proveniente do abate em frigoríficos, é uma fonte potencial de proteínas, muito utilizada em diversos países na alimentação humana. Na Suécia são utilizados 80% do sangue obtido nos matadouros para alimentação humana (DORLY, 1984). Porém, no Brasil, somente uma pequena quantidade de sangue animal é utilizada para este fim.

A palatabilidade e a aceitação do sangue bovino podem ser melhoradas quando aplicado à alimentação humana na forma de enriquecimento de vários produtos, além de diminuir comprovadamente casos de doenças causadas por deficiência de micronutrientes. As proteínas do sangue constituem aproximadamente 10% das proteínas totais dos animais de abate, embora representem apenas 3,5% de seu peso vivo (DIVAKARAN *et al.*, 1982).

Cozzolino *et al.* (1992) afirmaram que no Brasil, em 1984, foi estimado que cerca de 130 milhões de litros de sangue são descartados na maioria dos matadouros do país. Este sangue de abate é um poluente em potencial dos mananciais, sendo também responsável pelo alto custo do tratamento dos efluentes dos abatedouros (RÉ, 1986).

A aplicação do sangue bovino na alimentação humana é uma opção de enriquecimento de produtos de panificação com matéria-prima barata e em abundância, além de que com esta prática, os abatedouros estarão reduzindo o impacto ambiental causado pelo resíduo de sangue bovino descartado (LOPES *et al.*, 2008).

No Brasil, assim como na maioria dos países em desenvolvimento, ocorre a desnutrição da população, principalmente na de baixa renda. Esta situação decorre tanto do custo dessas proteínas, quanto do mau aproveitamento das fontes disponíveis e até de hábitos nutricionais inadequados. Uma das alternativas para aperfeiçoar a distribuição das fontes proteicas, seria a busca de formas viáveis de aproveitamento de matérias-primas subutilizadas, através do seu emprego em formulações alimentícias. O sangue bovino é um resíduo rico em proteínas com teores na faixa de 160 a 180 g.L⁻¹ (LUCA e DOS REIS, 2001) e (SIMÕES *et al.*, 1999), que podem contribuir na suplementação do nível proteico e fortificação dos alimentos. No entanto, o sangue bovino é utilizado frequentemente na produção de farinhas

para uso em ração animal, e no caso de pequenos frigoríficos, despejado em rios (DUARTE e SGARBIERI, 2000). Este resíduo da indústria frigorífica, quando não aproveitado, se apresenta como material de elevado índice poluente, o que faz crescer o interesse e a necessidade de sua exploração econômica (MASSARO e PINTO, 2002).

A utilização do sangue bovino e de suas frações também é importante pela razão nutricional, dada sua funcionalidade, pois suas proteínas possuem propriedades tecnologicamente interessantes, tais como textura, solubilidade (O'RIORDAN *et al.*, 1988), capacidade de formação de gel e de emulsificação (CHEFTEL *et al.*, 1989). Um exemplo são as globinas do sangue, que apresentam potencial de utilização em alimentos semi-sólidos devido à grande capacidade de absorção de água (AUTIO *et al.*, 1984).

Em países europeus o sangue é usado tradicionalmente na alimentação humana, no preparo de produtos típicos, o que tem encorajado vários pesquisadores do Brasil no desenvolvimento de processos de coleta e tratamento deste material. A forma mais usual de aproveitamento das proteínas do sangue é na indústria de produtos cárneos, onde o sangue integral e suas frações são utilizados como enriquecedores ou substitutos de outras proteínas (AUTIO *et al.*, 1985; LOPES *et al.*, 2008).

2.2 Usos e aplicações do sangue bovino

É altamente preocupante o baixo índice de aproveitamento do sangue no Brasil, sobretudo nos estabelecimentos qualificados, ainda que se destine a fins de alimentação animal, fertilizante ou a empregos industriais (PARDI *et al.*, 1996).

O sangue bovino proveniente de animais abatidos em abatedouros sob fiscalização constitui um resíduo de alto valor agregado, sobretudo em virtude da quantidade de proteínas, com alto teor de aminoácidos essenciais, vitaminas e sais minerais e por causa do seu alto coeficiente de digestibilidade (RENUNCIO, 1997).

O aproveitamento do sangue bovino permite a utilização em uma diversificada gama de subprodutos e numerosas aplicações industriais. Na Tabela 2.1 são apresentados alguns usos e aplicações do sangue bovino proveniente de animais abatidos sob inspeção.

Tabela 2.1 - Usos e aplicações do sangue bovino (RENUNCIO, 1997 e DIVAKARAN *et al.*, 1982)

Ramo / Atividade	Usos / Aplicações
Fertilizantes	Estabilizador de pH do solo, revestimento de sementes, componentes minerais.
Rações Animais	Estabilizador de vitaminas, substituto do leite, suplemento de lisina, componentes nutricionais.
Laboratorial	Meios de cultura, carvão ativado, esfingomielinas, catalases, Agar - sangue, albuminas, glicerofosfato.
Medicinal	Suturas, provas de aglutinação, imunoglobulinas; técnicas de fracionamento, fatores de coagulação, produtos de fibrina, serotonina, aditivos de plasma, entre outros.
Industrial	Indústria de cerâmica, adesivos, aditivos para resina; finalizadores de curtição de couros e tecidos, coadjuvantes em inseticidas pulverizantes, substituto da clara do ovo em panificação, espumas para extintores de incêndio, fabricação de cerâmica e plástico, formulações à base de plástico e cosméticos, etc.
Alimentação Humana	Estabilizante, clarificante, emulsificante, composto nutricional, corantes.

2.3 Produção de sangue bovino em pó integral

2.3.1 Aspectos gerais

O sangue é um tecido fluido existente nos animais com função de carrear nutrientes, oxigênio e resíduos resultantes do metabolismo das células (toxinas e dióxido de carbono). Estudos desenvolvidos com secagem de sangue bovino têm sido realizados desde a década de 80 (MARKOWSKI, 1991; RÉ, 1986; PHAM, 1983) nos quais obtiveram resultados aproximados para a solubilidade do teor proteico no produto final. A principal diferença encontrada pelos autores refere-se à umidade final do produto. Para uma temperatura na saída do secador de 70 °C, os valores encontrados para Phan (1983) e Ré (1986) foram inferiores a 6%, enquanto Makowsky (1991) encontrou umidades em torno de 10%. Os autores concluíram que a qualidade do produto final obtido no leito de jorro é comparada a obtida no

secador por atomização e que a taxa de alimentação de sangue é o principal parâmetro que mais interfere na qualidade produto final, estabilidade e eficiência do processo.

O sangue bovino deteriora-se extremamente rápido, além de sofrer o processo natural de coagulação. O primeiro cuidado a ser tomado no processo de obtenção do sangue bovino em pó é a coleta do sangue para que o produto seja recomendado ou não para alimentação humana (OCKERMAN e HANSEN, 1994).

A coagulação do sangue é produzida fisiologicamente pela ação da pro trombina e trombina, na presença de íons de cálcio. Porém, na fabricação de sangue bovino em pó, para que o produto final mantenha as propriedades nutritivas e o rendimento industrial seja maior, é necessária a adição de anticoagulante antes que ocorra a coagulação espontânea (PARDI *et al.*, 1996).

A secagem por atomização é um método de conservação muito apropriado para desidratar substâncias termosensíveis, como por exemplo, alimentos, vegetais e frutas por se tratar de uma secagem muito rápida (BHANDARI *et al.*, 1992; MASTERS, 1991).

O sistema de secagem caracteriza-se pela remoção de umidade até obtenção de valores que garantam a estabilidade do produto por tempo adequado nas condições preestabelecidas.

A secagem por atomização (*spray drying*) é um processo de secagem por calor, que consiste em pulverizar o produto em gotículas que entra em contato com uma corrente de ar quente que atua como fluido aquecedor e veiculador. Este produz uma evaporação imediata que transforma as gotículas em partículas sólidas que se separam do ar por meio de ciclone. A permanência de contato do produto com o ar quente é de 4 a 6 segundos, de modo que a qualidade do produto seco não seja alterada (DAIUTO e CEREDA, 2003).

Algumas partículas finamente divididas, principalmente devido à alta pressão, são arrastadas pelo topo do ciclone, minimizando a produção de pó e a eficiência do processo. Segundo DOMINGUES *et al.* (2002), quando bem conduzida, a desidratação por atomização gera um produto de alto valor nutritivo, estável e também versátil em sua utilização. As propriedades físicas do pó, relacionadas com a qualidade dos produtos obtidos são influenciadas pelas condições operacionais do secador e características da suspensão de alimentação (MASTERS, 1991).

De acordo com o Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA) entende-se como sangue em pó o subproduto industrial obtido pela desidratação do sangue por processos especiais, onde se permite a adição de anticoagulantes. O produto deve conter no mínimo 85% de proteína e no máximo 8% de umidade e a farinha de sangue, mínimo 80% de proteína e máximo 10% de umidade.

Na Tabela 2.2 são apresentados dados relativos ao conteúdo de proteínas e a digestibilidade relativa de diferentes tipos de farinhas. Uma análise comparativa destes dados demonstra que a farinha de sangue além de muito rica em proteínas para alimentação humana apresenta maior percentual de digestibilidade.

Tabela 2.2 - comparação do conteúdo de proteínas e a digestibilidade relativa entre diversos tipos de farinhas (PARDI *et al.*, 1993).

Produto	Proteína bruta %	Digestibilidade aparente %
Farinha de Carne	45 – 55	70 – 80
Farinha de Sangue	80 – 85	99 – 100
Farinha de Peixe	70 – 75	95 – 97
Farinha de Penas	85 – 90	53
Farinha de Centeio	8 – 10	82 – 84
Farinha de Milho	8 – 10	90

Deve-se observar que é necessário estudo para comparar a farinha de sangue com o sangue em pó em termos de proteína metabolizável.

2.4 Secadores por atomização

A secagem por atomização, mais conhecida por *spray drying*, teve início na metade do século 18, quando foi patenteada a primeira operação de secagem de ovos em 1865 (ROSA *et al.*, 2003). Porém, o início de sua utilização como processo, a nível industrial data da década de 20 do século passado.

Os primeiros produtos, que se tem notícia, obtidos em larga escala com a secagem por atomização foram o leite e o sabão em pó. Seu uso disseminou-se pela indústria de processos em geral, especialmente aplicado para a secagem em larga escala de produtos das linhas alimentícia e farmacêutica. Sua versatilidade operacional permite desde escalas laboratoriais

da ordem de mililitros por hora até dezenas de toneladas por hora na indústria. Além disso, dada sua versatilidade e o pequeno tempo de residência dos produtos na câmara de secagem, é a característica principal do equipamento para a secagem de materiais que apresentam sensibilidade ao calor, como alimentos e materiais de origem biológica.

Outro campo onde a secagem por atomização tem adquirido destaque recentemente é na microencapsulação de substâncias ativas. Na Figura 2.1 são apresentadas as variáveis que influenciam nos resultados de um processo de secagem por atomização.

O conjunto que compõe um equipamento do tipo *spray dryer* padrão é constituído de sistema de atomização do material; sistema de aquecimento e controle de temperatura do ar de secagem; sistema de bombeamento e controle de vazão de alimentação da suspensão a ser seca; sistema de alimentação de ar para secagem; câmara de secagem e sistema de separação ar - pó seco.

Figura 2.1 - Diagrama esquemático dos fatores que afetam secagem por atomização. (ROSA *et al.*, 2003).



2.4.1 Atomização

Um importante fator na secagem por atomização é o tamanho de gotícula obtido. Três são os tipos básicos de atomizadores: os bicos de pressão; duplo fluido e atomizador centrífugo. No atomizador de pressão, a suspensão é bombeada para o bico atomizador a altas

pressões, e passa por um orifício de diâmetro muito pequeno. As pressões neste tipo de bico são da ordem de 100 a 600 kgf/cm². Desta maneira, obrigatoriamente faz-se necessário o uso de bombas especiais de alta pressão e materiais resistentes à abrasão para construção do bico. Do ponto de vista energético, os atomizadores de pressão são os mais econômicos. Os bicos de pressão têm em geral capacidades para até 100 L/h, sendo necessária a combinação de mais de um bico para secadores com vazões de alimentação maiores que este valor. A equação que representa o tamanho da gotícula é proporcional ao inverso da raiz cúbica da pressão.

No atomizador duplo fluido ou pneumático, a pressão necessária para pulverizar a suspensão é geralmente menor do que a usada para o sistema de bico de pressão. Neste sistema atomizador, o material líquido é rompido pelo cisalhamento gerado pela diferença de velocidades entre o fluido de atomização, geralmente o ar. Este é o sistema com maior demanda energética, no entanto é largamente utilizado devido à sua grande versatilidade, alto controle de tamanho e uniformidade de gotículas. Um único bico pode atingir vazões de até 1.000 L/h, e podendo ser usadas cabeças com combinações de vários bicos pneumáticos para vazões maiores com ampla faixa de tamanhos de partícula para amplas faixas de vazões, por isto são os mais usados em equipamentos de laboratório. Há dois tipos básicos de atomizadores pneumáticos, de acordo com o modo de mistura dos dois fluidos, mistura interna e mistura externa. Os tamanhos de gotículas formadas podem ser preditos por equações como a de NUKIYAMA e TANASAWA (1938). A Equação 2.1 foi proposta com base empírica:

$$\bar{d} = \frac{1920\sqrt{\sigma}}{V_r\sqrt{\mu}} + 597 \left(\frac{\mu}{\sqrt{\sigma\rho}} \right)^{0,45} \left(\frac{1000Q_L}{Q_a} \right)^{1,5} \quad (2.1)$$

Onde:

\bar{d} , diâmetro das gotas (cm);

μ , viscosidade (cP);

σ , tensão superficial do líquido (dina.cm⁻²);

ρ , densidade do líquido no bico (g.cm⁻³);

V_r , velocidade relativa ar-líquido (cm.s⁻¹);

Q_L , vazão de líquido (L.min⁻¹) e

Q_a , vazão de ar (L.min⁻¹).

O atomizador centrífugo é basicamente constituído por um disco que gira na extremidade de um eixo onde é injetado o material líquido que acelera radialmente, pulverizando a suspensão na câmara de secagem.

Há inúmeras variantes do projeto do disco, que proporcionam ampla faixa de tamanhos de gotículas. Outro fator importante no controle de tamanho é a velocidade de rotação, que geralmente corresponde a uma velocidade periférica no disco de 100 a 200 m/s.

Na Tabela 2.3 é apresentado um resumo das faixas de tamanhos de gotículas obtidas a partir de diferentes tipos de atomizadores. Estas faixas são representativas de grande parte dos sistemas comerciais disponíveis para *spray dryer*, porém modificações especiais dos projetos dos atomizadores podem levar a diferentes resultados.

Tabela 2.3 Tamanho de gotículas na atomização (ROSA *et al.*, 2003).

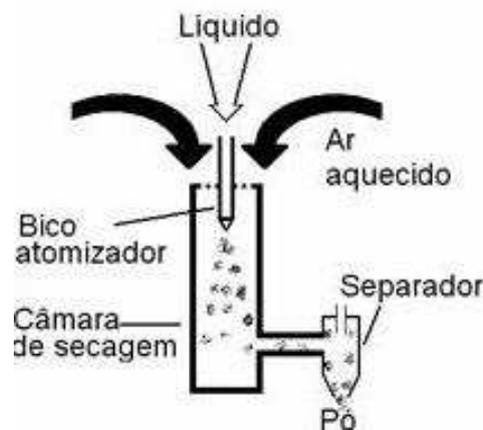
Tipo do atomizador	Tamanho da gota (μm)
Rotativo	1 – 600
Pressão	10 – 800
Duplo fluido	5 – 300
Ultrasom	5 – 1000

2.4.2 Configuração do secador

Em relação ao sentido de movimentação dos materiais no interior do *spray dryer*, as configurações possíveis são: cocorrente, contracorrente e misto. Nos secadores cocorrente o material líquido pulverizado e o ar de secagem têm mesmo sentido de corrente dentro do equipamento. Em geral, alimentação e ar entram por cima, de maneira que ambos também saem pela parte de baixo do secador no caso de secadores em cocorrente.

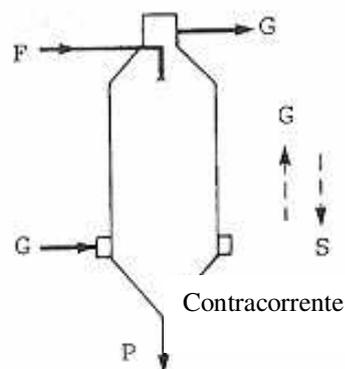
Na Figura 2.2 é mostrada uma configuração básica de um secador por atomização em configuração cocorrente.

Figura 2.2 - Diagrama esquemático de um secador por atomização em cocorrente (ROSA *et. al.*, 2003).



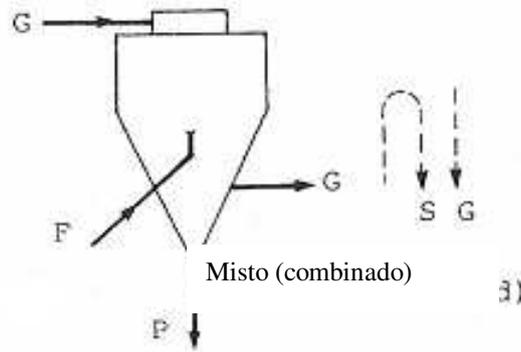
Nos secadores contracorrente o material líquido e o ar de secagem têm sentidos de escoamento opostos dentro da câmara. Na Figura 2.3, a alimentação de líquido é realizada na parte superior da coluna, mas a entrada do ar é feita pela parte inferior do equipamento, enquanto a saída do produto é na parte inferior e a do ar na parte superior.

Figura 2.3 - Diagrama de operação contracorrente



Na Figura 2.4 ilustra-se o secador misto onde o material é atomizado em direção ascendente, enquanto o ar é alimentado na parte superior, tendo circulação totalmente descendente dentro da câmara. Isto significa que o material atomizado inicia movimentação ascendente, mas altera seu sentido para descendente sob arraste do ar. Ambos saem do equipamento pela parte inferior.

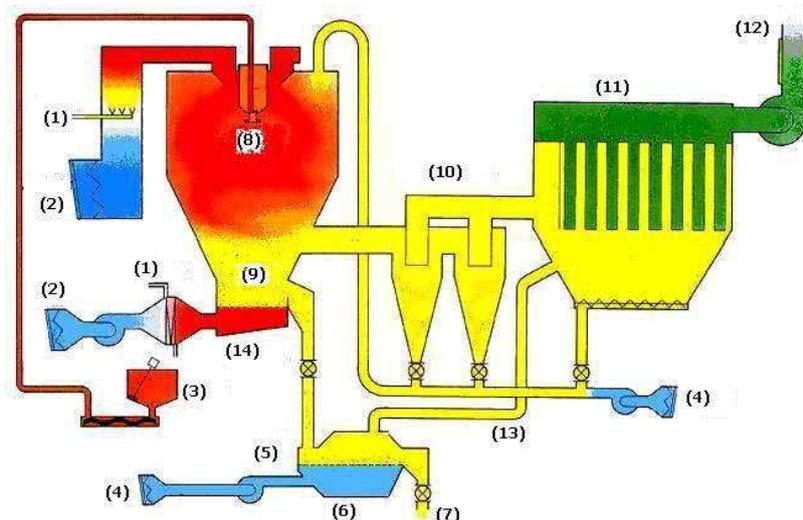
Figura 2.4 - Diagrama dos modos de operação contracorrente e cocorrente.



2.4.3 Associação de métodos

O secador por atomização também permite sua associação direta com outros métodos de secagem ou pós-secagem, com a granulação e/ou aglomeração, conforme está apresentado na Figura 2.5. No caso de leite em pó para que se torne instantâneo, ou seja, de melhor solubilidade é necessário a adição de lecitina e aglomeração em leito fluidizado (ROSA *et. al.*, 2003).

Figura 2.5 Processo convencional de obtenção de leite em pó. (ROSA *et al.*, 2003).



(1) Ar Quente; (2) Entrada de Ar; (3) Bomba de Alimentação; (4) Introdução de Ar para resfriamento do Produto; (5) Produto Seco Frio; (6) Leito Fluidizado; (7) Produto Final Seco; (8) Bico de Atomização-Spray; (9) Câmara de Produto Atomizado (névoa); (10) Ciclone de Recuperação; (11) Filtro de Ar Invertido; (12) Saída de Ar; (13) Produto recuperado; (14) Leito Fluidizado de Aglomeração.

2.5 Estado da Arte

2.5.1 Equipamentos desenvolvidos

A indústria química nas suas diversas modalidades necessita de produtos com características precisas tanto do ponto de vista químico quanto físico e com granulometrias bem determinadas. Estas características influenciam desde o tempo de reação de fármacos ao acabamento de pisos cerâmicos. Pesquisadores vêm desenvolvendo equipamentos para diversas aplicações.

Oliveira filho (2007) desenvolveu um secador por atomização para obtenção de pós finos de precursores de nióbio com o objetivo de obter partículas com morfologia uniforme, o equipamento foi constituído por uma câmara de secagem em aço inox 304 medindo 0,48 m de diâmetro por 1,90 m de comprimento com formato tronco cônico na sua parte inferior, onde foi realizada uma análise da influência da concentração da suspensão, vazão de alimentação, temperatura de operação, vazão do ar de secagem e vazão do ar de atomização sobre as características dos pós obtidos.

Moreira (2008) com o objetivo de desenvolver produtos que permitissem maior biodisponibilidade de minerais orgânicos para ruminantes propôs formulações para formação de complexos ou quelatos de espirulina com zinco. Após preparadas necessitava-se de um secador por pulverização, mas o custo elevado para aquisição do mesmo motivou o desenvolvimento de um equipamento para secar as formulações propostas. O esquema do aparato experimental desenvolvido e utilizado no processo de secagem é apresentado na Figura 2.6.

Na unidade experimental proposta, a secagem ocorreu em uma câmara cilíndrica de base cônica (7), construída em ferro aço-carbono, com 30 cm de diâmetro interno, base cônica de 60° e altura total de 90 cm. O ar de secagem fornecido pelo compressor rotativo (5) de 750 W e aquecido por um conjunto de resistências de 3600 W existentes no aquecedor, ligado a um termostato digital (12) atuado por sensor de temperatura (11). Na lateral superior do leito de secagem foram acoplados dois ciclones em lados opostos para não haver desvios de material para as laterais da câmara de secagem, no momento da atomização, conforme apresentado na Figura 2.7.

Figura 2.6 Esquema do aparato experimental para secagem das suspensões (MOREIRA, 2008).

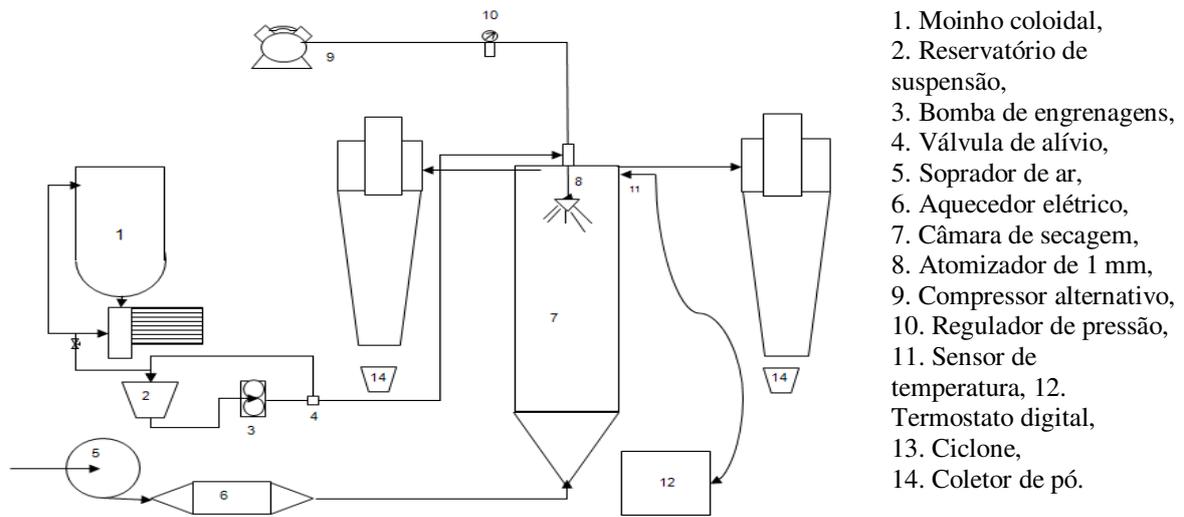


Figura 2.7 Equipamento de secagem das suspensões de Zinco-espíruína (MOREIRA, 2008).



A suspensão foi transportada através de um tubo de PVC por uma bomba de deslocamento positivo tipo engrenagem (3) até o bico atomizador (8), onde uma linha de ar comprimido fornecido por um compressor alternativo (9) de 750 W auxiliava na atomização da suspensão.

Não foi possível operar a unidade em regime contínuo em função da bomba de engrenagens super dimensionada para o soprador de ar de secagem e o compressor de ar de atomização. Além disto, ocorreram problemas do atomizador gotejar produto após as intermitências da bomba. Isto foi resolvido ao desligar o ar de atomização por 10 s após a parada da alimentação. Para a unidade funcionar em regime automático e semi-contínuo seria necessário incluir um recipiente na parte inferior da câmara de secagem para coletar algum líquido não evaporado

2.5.2. Controle e automação

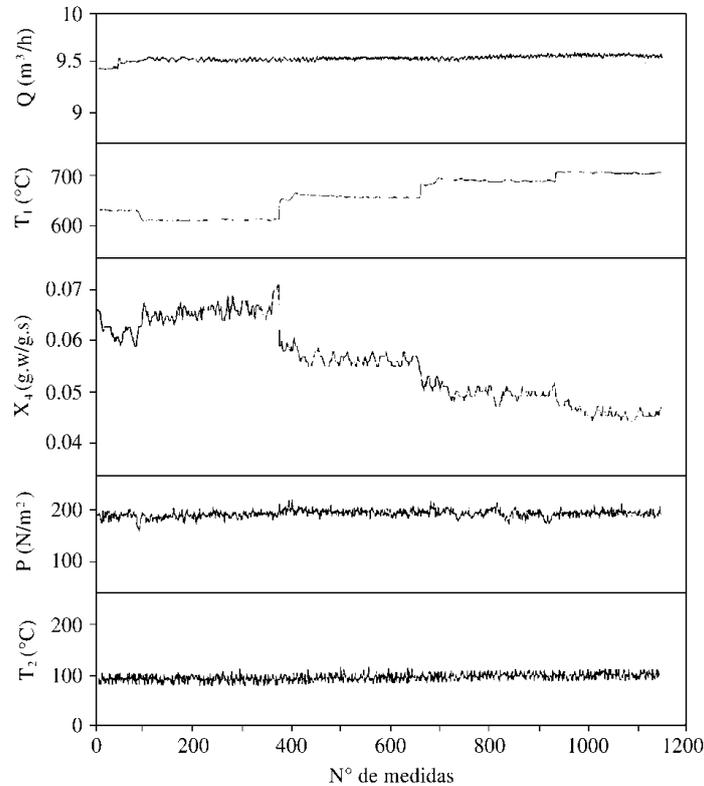
Negree (2000) estudou o controle e automação de um sistema de secagem de suspensão de pó cerâmico em secador por atomização. Apesar do estudo não ter relação direta com produtos biológicos, as observações foram úteis para confirmar o comportamento da umidade do produto na saída do secador. O estudo realizado conduziu melhores resultados com a fixação da temperatura de entrada para uma umidade desejada.

Na Figura 2.8 são mostradas as variáveis de um sistema operado através do controle de secagem onde a variável manipulada é a temperatura de entrada T_1 (°C) e a variável controlada é a umidade do pó. Observa-se que, no caso de secagem de pós cerâmicos, desvios de 3% poderão acarretar problemas de estabilidade dimensional em revestimentos cerâmicos reduzindo a qualidade dos mesmos (NEGREE, 2000). O autor melhorou o processo de acordo com o ajuste de uma equação de regressão múltipla (Equação 2.2) onde $T = f(Q, X)$.

$$T_1 = 352,3 + 61,14Q - 4909X^4 \quad (2.2)$$

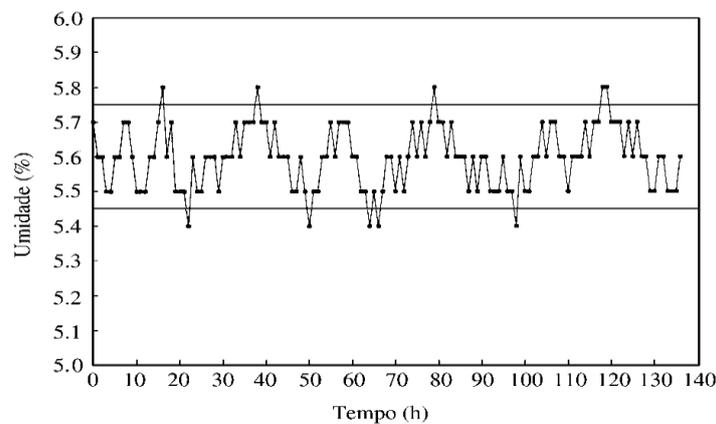
Esta equação permite prever a temperatura ideal de entrada do gás de secagem, para obter uma umidade desejada do produto seco, a partir de uma vazão de barbotina pré-fixada.

Figura 2.8 Evolução das variáveis de processo para uma vazão de barbotina de 9,5 m³/h (NEGREE, 2000). Onde: Q, vazão de alimentação; T₁, Temperatura do gás de secagem; X₄, fração de água em base úmida; P, pressão de atomização; T₂, Temperatura do gás na saída.



Na Figura 2.9 é evidenciada a melhoria obtida através da Equação de ajuste 2.2, em que a umidade do pó obtido com variação de 4 a 7 %, passou de 5,45 a 5,75 %.

Figura 2.9 Evolução semanal da umidade do pó após a implementação do controle interativo automático (NEGREE, 2000).



O estudo realizado por Negree (2000) mostra como seria o comportamento de um sistema de secagem com ar seco devido ao processo de secagem a altas temperaturas entre 600 a 700 °C. A secagem com produtos biológicos está limitada à temperaturas do ar de secagem ao máximo de 190 °C, que também nessa faixa de temperatura não garante as condições de ambiente seco devido a geração de vapor. O aquecimento das partículas com a formação de uma película de compostos insolúveis, reduz a taxa de secagem e produz aumento da temperatura da partícula, resultando aumento da temperatura do fluido na saída do secador. Temperaturas excessivas causam degradação do pó por meio de reações, como por exemplo a reação de Maillard, que é favorecida pelo aumento da umidade ou por combustão favorecida pela umidade baixa, que pode ocorrer com um ar de baixa umidade.

2.5.3 Ensaio realizados

A literatura sobre secagem por atomização tem apresentado diversos trabalhos com uma grande variedade de produtos agroindustriais, várias configurações e tipos de leitos fluidodinamicamente ativos. O produto em pó obtido apresenta alto valor agregado e baixa umidade. No entanto, esses trabalhos não tem interesse em mostrar o rendimento do processo, tendo em vista às dificuldades encontradas nesse tipo de processo. Os mais comuns são retenção da suspensão na parede do equipamento, escape de pós finamente divididos pela parte superior do ciclone, com aumento da pressão de atomização e colapso do leito quando não há uma boa interação entre vazão de suspensão, temperatura e pressão.

No caso do leito de jorro e fluidizado ainda há a contribuição da vazão de ar que movimentam a camada de partículas inertes e retenção da suspensão ao inerte. Outra informação importante para o processo é o teor de sólidos na suspensão que está diretamente relacionada ao rendimento e produção de pó, e nem sempre é apresentado nos trabalhos. Todos esses fatores contribuem para diferença entre o teor de sólidos que é alimentado na suspensão e a quantidade obtida na forma de pó.

Muitos autores obtiveram eficiências satisfatórias com os ensaios realizados. Por exemplo, Souza (2003) necessitou da adição de 80 % de adjuvante, em extratos de plantas, para evitar que o produto durante a secagem grude nas paredes do secador. Estes problemas são comuns nos processos de secagem por atomização, muitas vezes não são citados pelos resultados não agregarem valor ao trabalho.

Faz-se necessário um controle no processo de secagem no qual sejam satisfeitas temperaturas de entrada, temperatura de saída e umidade na saída do secador adequada para evitar efeitos indesejáveis, como perda do valor nutricional ou fitoterápico do produto seco. Dentre os autores que fizeram estudos relacionados às temperaturas, VARNAN e SUTHERLAND (1995) citam que para temperatura de entrada em secadores por atomização em processos de secagem de leite a auto-ignição pode ocorrer à 144 °C.

Moreira (1991) encontrou melhores resultados para teores de vitamina C na secagem de polpa de umbu em leito de jorro a 70 °C. Guerra *et al.* (2005) encontraram melhores resultados de secagem de leite bubalino em secador por atomização com temperaturas de 140 °C e 75 °C na entrada e saída, respectivamente. Os autores chegaram a conclusões que a temperatura de saída com melhores resultados nutricional, fica em torno de 70 a 80 °C.

Moreira *et al.* (2009) secaram polpa de acerola por atomização num *Spray Dryer Büchi B-290* com temperatura do ar de entrada de 185 °C. Como adjuvantes utilizaram maltodextrina e goma de cajueiro para facilitar o processo de secagem. A vazão de suspensão foi de $2,9 \times 10^{-2} \text{ kg.h}^{-1}$ e a vazão do ar de secagem foi de $1,5 \times 10^{-2} \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$.

Oliveira *et al.* (2007) realizaram a secagem polpa de abacaxi e de maracujá com teor de sólidos em suspensão de 12% e vazão de suspensão de 11 kg.h^{-1} num *Spray Dryer* com temperatura do ar de secagem de 190 °C e de saída 90 °C. Como adjuvante utilizaram maltodextrina para facilitar o processo de secagem.

Mata *et al.* (2005) secaram polpa de umbu num *Spray Dryer Büchi B-191* com temperatura de entrada no secador de 160 °C e vazão do ar de secagem de $81 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$. Como adjuvante utilizaram maltodextrina e goma arábica para facilitar o processo de secagem.

Souza (2003) trabalhando na secagem de extratos de pata de vaca (*Bauhinia forficata*) nos leitos de jorro e *spray dryer* com temperaturas do ar de secagem de 150 °C e teor de sólidos em suspensão de 13,1 %, vazão de alimentação do extrato de 3 e $0,91 \text{ kg.h}^{-1}$ e rendimento de 65,64 e 84,13 %, respectivamente.

Santos *et al.* (2003) durante secagem por atomização de insulina, num *Spray Drier Büchi B-191* com vazão de ar de $3,6 \text{ kg.h}^{-1}$. Como adjuvante utilizaram quitosana para facilitar o processo de secagem.

Lanes e Medeiros (2003) durante secagem por atomização de achocolatado de cupuaçu num *spray dryer Büchi 190*, utilizaram uma temperatura do ar de secagem de 120 °C e na saída do secador de 92 °C, vazão de suspensão de 10 kg.h⁻¹, vazão do ar de secagem de 45 kg.h⁻¹, teor de sólidos em suspensão de 41 % e rendimento de 20 %.

Birchal *et al.* (2002) durante a secagem de leite em escala industrial combinada *spray dryer* com leito fluidizado, utilizaram temperatura do ar de entrada de 180 °C e de saída de 80 °C com uma vazão de suspensão de 1x10³ kg.h⁻¹, vazão do ar de secagem de 31x10³ m³.h⁻¹ e teor de sólidos na suspensão de 41 %. Nota-se que nesse processo utilizou-se a técnica de fluidização para movimentar as partículas, complementando a secagem do leite em pó.

Massaro e Pinto (2002) utilizaram um leito de jorro para secagem de sangue bovino e farelo de arroz, com temperatura de secagem 70 °C, vazão de suspensão de 0,69 kg.h⁻¹ e teor de sólidos em suspensão de 7 a 10 %.

CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS

Esse capítulo apresenta os materiais utilizados, as técnicas adotadas para a construção do sistema de secagem, ensaios preliminares para adequação das ferramentas utilizadas na operação do equipamento e as ações de melhorias para aumentar o rendimento na produção de sangue em pó.

Os estudos foram desenvolvidos no Laboratório de Nutrição Animal (LANA) do Centro de Saúde e Tecnologia Rural (CSTR), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campus de Patos, PB.

3.1 Aparato experimental

Foi desenvolvido um sistema de secagem por atomização versátil, de baixo custo e fácil operação para atender às necessidades de populações dos Arranjos Produtivos Locais. As partes do equipamento em contato com o produto a ser seco foram constituídas de materiais inertes como aço inox 304, PVC e polietileno; os equipamentos fornecedores de ar comprimido e ar de secagem construídos em aço carbono e as estruturas de sustentação dos equipamentos construídas em aço carbono. Esse sistema foi desenvolvido para diversas pastas e suspensões: sangue bovino; leite *in natura*; polpa de frutas e extratos de plantas medicinais.

3.2 Matérias-primas

Nos ensaios preliminares (ações de ajustes do processo) foram utilizadas como matérias-primas: água potável, leite integral bovino e polpa de goiaba. O sangue bovino foi escolhido para as etapas de melhorias do processo.

3.2.1 Água potável

A água potável, fornecida pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba, foi utilizada pela facilidade de manuseio nos testes e ajustes das condições de processo, solvente comum aos diversos fluidos.

3.2.2 Leite e polpa de goiaba

O leite integral bovino e a polpa de goiaba foram fornecidos pela empresa Sabor do Sertão Indústria e Comércio de Alimentos LTDA.

O leite foi utilizado nas primeiras fases do desenvolvimento do processo por apresentar viscosidade mais estável que facilitou as definições dos parâmetros do processo. O leite integral bovino existe em abundância no período chuvoso na região Nordeste do Brasil onde há um aumento significativo de produção em função da oferta de pasto, e no período seco há dificuldades de aquisição, aumento do preço do leite, sendo necessário importar de outras regiões prejudicando o desenvolvimento local. Com a produção de frutos não é diferente, pois há uma produção sazonal sendo importante a obtenção dos produtos na forma de pó, que garanta sua estabilidade e vida útil, sem a necessidade de conservantes e congelamento.

3.2.3 Maltodextrina

As maltodextrinas são biopolímeros originados da hidrólise parcial do amido e têm extensa utilização como ingrediente por proporcionar características desejáveis a alimentos processados. A maltodextrina adquirida no comércio em loja de suplementos para atletas foi utilizada como coadjuvante de secagem.

3.2.4 Ácido cítrico e citrato de sódio

O ácido cítrico e o citrato de sódio foi utilizado como anticoagulante do sangue *in natura* atuando como agente complexante dos íons de cálcio.

3.2.5 Sangue

A utilização do sangue bovino como matéria-prima principal desse trabalho foi indicada pelos aspectos ambientais e socioeconômicos (grande disponibilidade e baixo custo de aquisição) e pelas propriedades fluidas. O sangue bovino, por ser um material rico em proteínas, é um dos elementos causadores da poluição em corpos de água. Pode ser aproveitado através do acondicionamento na forma de pó.

O sangue bovino utilizado nesse trabalho foi fornecido pelo Matadouro Público de Patos – PB

3.3 Caracterização físico-química das matérias-primas

As análises das matérias-primas foram realizadas seguindo metodologias propostas por (BRASIL, 2002) e (BRASIL, 2008).

O percentual de matéria seca e da umidade do sangue bovino em pó foram determinados através de secagem por micro-ondas, procedimento adaptado de (BRASIL, 2002), onde se procedeu pela secagem por três períodos a diferentes potências, 2min30s a 300

W, 1min30s a 400 W e 1min a 200 W respectivamente, os tempos podem ser ajustados por tentativas até que a amostra apresente princípio de escurecimento. Na secagem por micro-ondas as determinações em 24 horas são reduzidas a 15 minutos para suspensões e 5 minutos para pó.

Foram feitas as seguintes determinações para o leite *in natura* e leite em pó reconstituído:

- acidez por titulometria;
- Proteínas (P), gorduras (G) e extrato seco desengordurado (EXD), por meio de ultrassom em um analisador de leite EKOMILK.

O extrato seco total é a soma do (EST) e as (G).

3.4 Variáveis do processo

Para o acompanhamento do processo foram adotados os seguintes itens de controle (variáveis):

3.4.1 Vazão de alimentação:

É a vazão média medida através razão da diferença entre o peso inicial e o peso final da suspensão pelo tempo de processamento:

$$Q_{al} = (\text{peso inicial da suspensão} - \text{peso final da suspensão}) / (\text{tempo de processamento})$$

3.4.2 Fração de sólidos na suspensão:

É a razão entre o peso da amostra seca em estufa e o peso da suspensão:

$$S_s = (\text{peso da amostra seca}) / (\text{peso da suspensão}) \times 100$$

3.4.3 Umidade do pó:

É a razão entre o peso do pó úmido obtido no processo de secagem por atomização e o peso do pó seco em estufa:

$$U_{pó} = (\text{peso da amostra úmida}) / (\text{peso da amostra seca})$$

3.4.4 Produção de pó:

É a quantidade de pó produzido medida através da razão entre o pó total produzido e o tempo de processamento:

$PR_{pó} = (\text{peso do pó recolhido na câmara de secagem} + \text{peso do pó recolhido nos ciclones}) / (\text{tempo de processamento})$

3.4.5 Rendimento:

É um índice que indica a massa obtida com relação a massa que se pretendia obter, calculado pela razão entre a quantidade de pó total produzido e a quantidade de matéria seca que entrou no secador:

$$R = (PR_{pó} / Q_{al} \times S_s) \times 100$$

3.4.6 Rendimento de pó no ciclone:

É um índice que indica a massa obtida com relação a massa que se pretendia obter, calculado pela razão entre a quantidade de pó recolhido nos ciclones e a quantidade de matéria seca que entrou no secador:

$$R_{ci} = (\text{peso do pó recolhido nos ciclones} / \text{tempo de processamento}) / (Q_{al} \times S_s) \times 100$$

3.4.7 Eficiência de produção de pó:

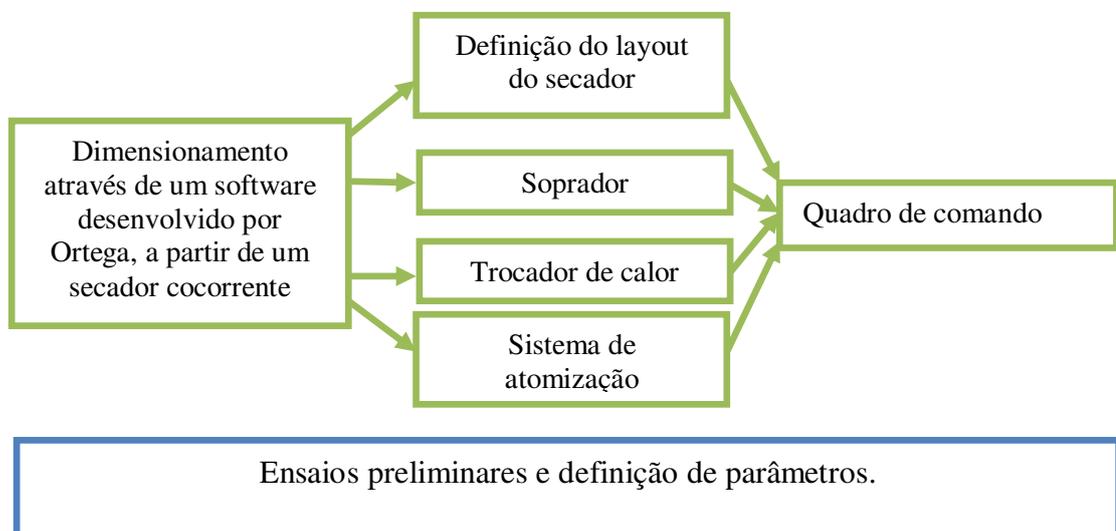
É a razão entre a produção de pó e a produção desejada (produção nominal):

$$E = (PR_{pó} / \text{produção nominal}) \times 100$$

3.5 Metodologia de projeto do sistema de secagem

Na Figura 3.1 é apresentado o fluxograma da metodologia de projeto: construção e ensaios preliminares do sistema de secagem por atomização desenvolvido.

Figura 3.1 Fluxograma da metodologia de projeto



Nos ensaios preliminares foram determinados os principais problemas e limitações para diversos fluidos; foram utilizadas como matérias-primas a água e o leite. Essa etapa permitiu entender o comportamento do sistema para escolha do fluido mais adequado para as ações de melhorias.

Nas etapas seguintes foram feitas alterações na programação do relé, nos equipamentos e produtos, sendo necessário realizar ações de melhorias para que o sistema fosse viável em termos produtivos.

3.5.1 Projeto do sistema de secagem

Para a construção do sistema de secagem foram utilizadas condições de processo de estudos anteriores como a temperatura de saída do secador de 70 °C, que apresentou melhores índices de qualidade do produto seco em pó (MOREIRA, 1991). A partir deste ponto, para estimar as dimensões do secador e periféricos, utilizou-se um programa desenvolvido por CARVALHO e ORTEGA (1995), que adotou equações propostas por HELDMAN e SINGH (1981). Na Tabela 3.1 são apresentados os resultados do cálculo para o dimensionamento de um secador.

A metodologia de controle adotada tem como base o resfriamento evaporativo, que possibilita o controle da temperatura de saída através da vazão de alimentação do fluido, que está correlacionada com a umidade do pó obtido. Na metodologia convencional adota-se o aumento da temperatura de entrada para redução da umidade do pó.

Na construção dos equipamentos de processo e montagem do sistema de controle, houve um cuidado especial para compra de materiais de fácil aquisição; o equipamento também foi desenvolvido para ser de simples operação sem necessidade de ação manual durante o processo, mesmo que ocorram alterações no ambiente, ou seja, variações na temperatura e umidade do ar ambiente, ou alterações na concentração do produto a secar, os desvios na qualidade do pó deverão ser mínimos.

Tabela 3.1 Cálculo para o dimensionamento de um secador *spray dryer* em co-corrente, transcrito do software desenvolvido por CARVALHO e ORTEGA, (1995).

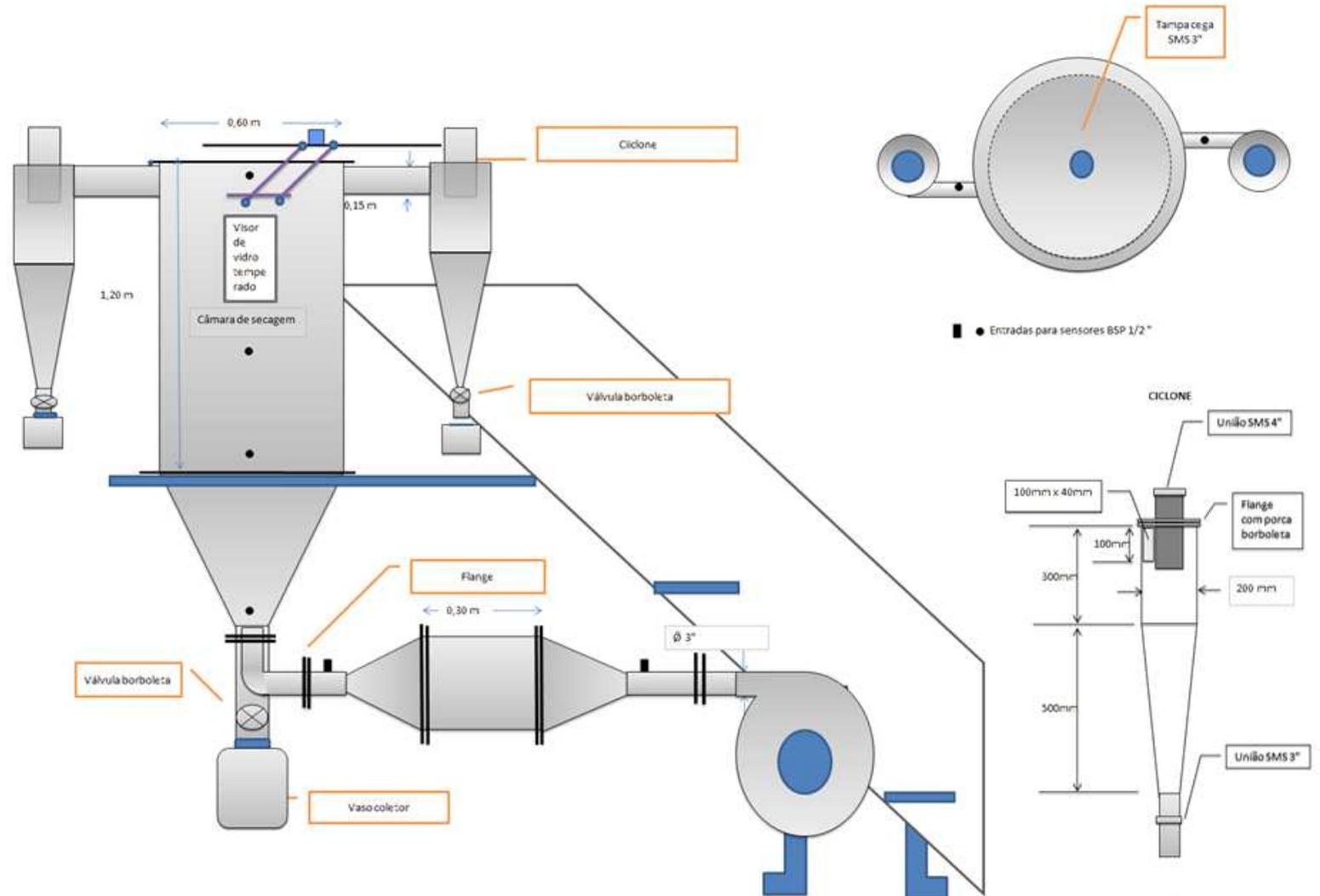
VARIÁVEIS DE CÁLCULO	
Vazão mássica [kg/h]:	2,6
Fração líquido:	0,80
Fração sólidos:	0,04
Fração sol. Prod.:	0,20
Diâmetro atomizador [m]:	0,0007
Densidade líquido [kg/m ³]:	1075,00
Densidade produto [kg/m ³]:	1040,00
Umidade inic. [kg H ₂ O/kg prod.]:	0,50
Umidade final [kg H ₂ O/kg prod.]:	0,04
Umidade inicial ar:	0,02
Umidade fim ar:	0,04
Água produto [kg água/kg prod.]:	0,5
Temperatura entrada ar [°C]:	110,00
Temperatura alimentação [°C]:	20,00
Temperatura referencia [°C]:	0,00
Temperatura final ar [°C]:	70,00
Taxa água evaporada:	0,48
Calor latente [kJ/kg]:	2325,00
Temperatura inicial prod.[°C]:	20,00
Temperatura ar final [°C]:	41,00
Coef. trans. de calor [W/mK]:	0,0320
Diâmetro secador [m]:	0,60
RESULTADOS	
Vazão produto seco [kg/h]:	0,54
Vazão H ₂ O alimen. [kg/h]:	2,27
Vazão H ₂ O final [kg/h]:	2,06
Vazão ar [kg/h]:	232,40
cp inicial produto [kJ/kg.K]:	2,51
cp fim produto [kJ/kg.K]:	0,97
cp inicial ar [kJ/kg.K]:	1,04
cp final ar [kJ/kg.K]:	1,08
Raio inicial part.[m]:	0,000350
Raio final part.[m]:	0,000299
Taxa volume ar [m ³ /min]:	2,26
Volume H ₂ O partic.[m ³]:	1,545e-07
Tempo residência [s]:	30,05
Altura secador [m]:	1,20

3.5.1.1 Construção da câmara de secagem

Para construção do secador por atomização foi desenvolvido um secador com possibilidade de uso em duas configurações: para secagem em “leito de jorro” ou “secagem por atomização”; para dimensionamento do secador foi adotado uma vazão de produto $2,6 \text{ L.h}^{-1}$, teor de sólidos da suspensão de 20 %, temperatura do ar de secagem $110 \text{ }^\circ\text{C}$, temperatura de saída de $70 \text{ }^\circ\text{C}$ e diâmetro da câmara de secagem 0,6 m. Estes dados foram utilizados como dados de entrada em um programa desenvolvido em linguagem “C” por CARVALHO e ORTEGA (1995), onde como dados de saída se têm: a altura do secador e a vazão do ar de secagem; conforme observado na Tabela 3.1 os dados são calculados para secadores por atomização em cocorrente.

Na Figura 3.2 é mostrado o diagrama da câmara de secagem constituída em aço inox 304, com diâmetro de 0,60 m, base cônica 60° e altura da seção cilíndrica 1,2 m. A câmara é dotada de dois separadores de pó e um coletor na base acoplado ao cone da mesma. Os separadores de pó foram projetados segundo método de STAIRMAND (1951) que criou um projeto normatizado para ciclones gás-sólido de alto rendimento.

Figura 3.2 – Diagrama da câmara de secagem



3.5.1.2 Construção do soprador centrífugo

O soprador centrífugo foi construído com chapas de aço carbono, motor de 2 HP e 3600 rpm. Sua construção foi feita de maneira adequada para facilitar a troca de rotores, no caso de mudança de escala. A velocidade do ar de secagem foi medida através de tubo Pitot.

3.5.1.3 Construção do trocador de calor

O trocador de calor foi construído em aço inox 304, com dois conjuntos de resistências R1 e R2. Cada conjunto apresenta três resistências de 600 W, com potência total de 3.600 W.

3.5.1.4 Montagem do sistema de atomização

Inicialmente foi utilizado um atomizador de duplo fluido com construção em aço carbono e bronze, com furo de 0,7 mm. O mesmo foi substituído por um atomizador de duplo fluido em aço inox 304, com furo de 1,5 mm, com agulha e bloqueio de fluido para facilitar a limpeza e reduzir os riscos de contaminação. Constituído de três válvulas solenóides, sendo uma para acionamento do ar de atomização, outra para dosagem de produto e outra para bloqueio do produto.

A pressão do ar de atomização era fornecida por um compressor alternativo com pressão controlada por uma válvula acionada por molas.

A dosagem de suspensão passou por diversas etapas de melhorias nos primeiros ensaios: inicialmente a dosagem era regulada por bomba peristáltica com vazão fixa de 5 L.h⁻¹. Entretanto, foram verificados problemas de manutenção da bomba peristáltica e a mesma foi substituída por uma bomba magnética de diafragma, sendo a dosagem alterada para vazão intermitente. Nos experimentos finais a alimentação do sangue foi realizada por gravidade.

3.5.1.5 Quadro de comando

O quadro de comando foi construído com relé programável modelo CLW-2-20/HR-D com oito entradas digitais, quatro entradas analógicas e oito saídas digitais.

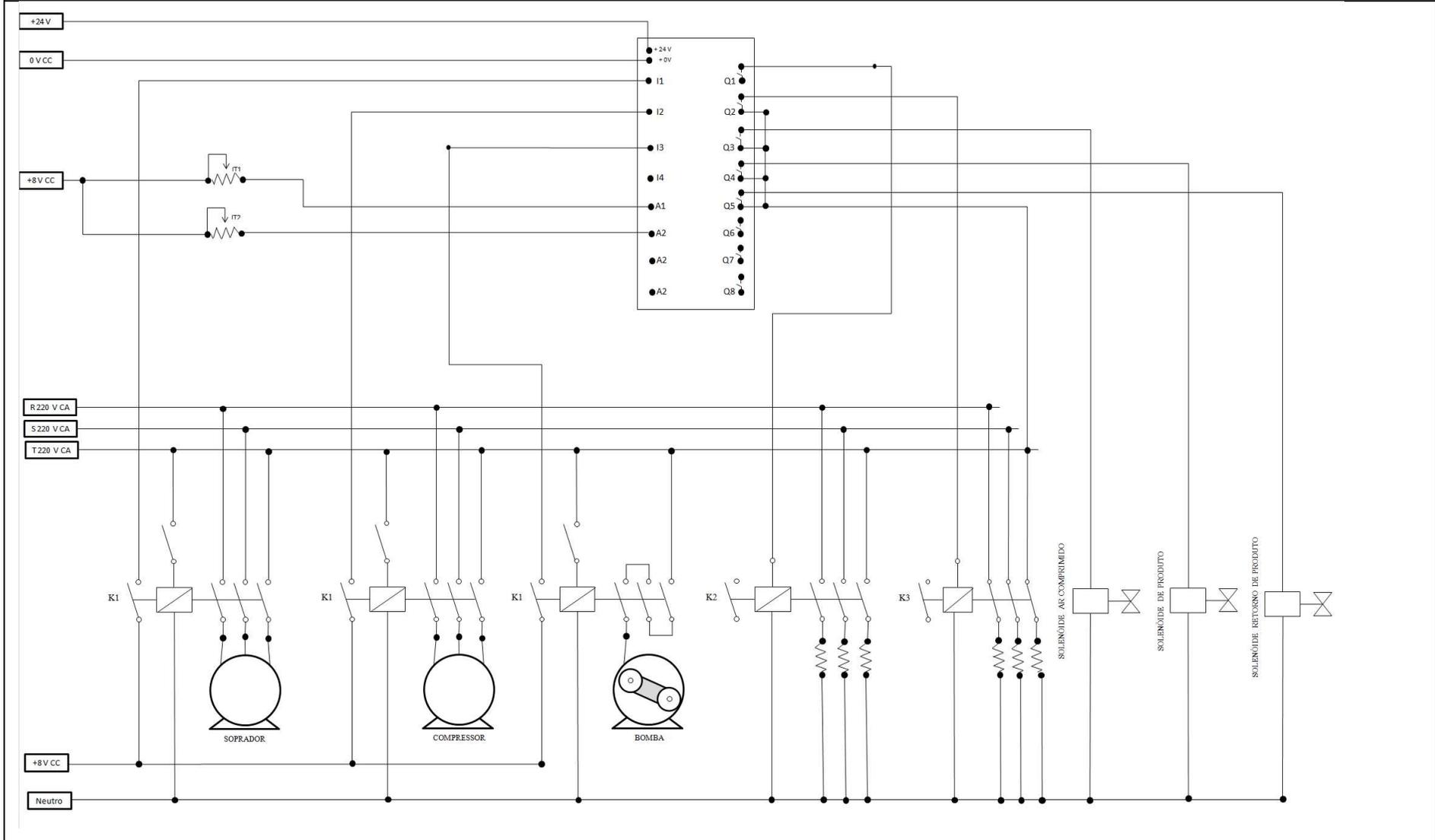
As entradas analógicas [Ai 01] e [Ai 02] foram ligadas a dois sensores de temperatura ST₁ e ST₂ tipo NTC 30 KΩ a 25 °C, um na entrada de ar de secagem e outro na saída do secador.

- A entrada digital [I1] - indica o acionamento do soprador para evitar queima das resistências.
- A entrada digital [I2] indica a energização do compressor do ar de atomização.

- A entrada digital [I3] faz a leitura da energização da bomba peristáltica.
- As saídas digitais [Q1] e [Q2] aciona as resistências R1 e R2.
- [Q3] aciona a solenóide de ar de atomização.
- [Q4] e [Q5] aciona as solenóides de alimentação e retorno respectivamente.

Na Figura 3.3 é apresentado o diagrama trifilar das ligações dos instrumentos e equipamentos de utilidade e controle do secador existente no quadro de comando. Através do relé programável, os equipamentos (motores, válvulas e resistências) podem ser ativados por meio de programação lógica de acordo com as necessidades do processo. Os detalhes do quadro de comando estão apresentados na Figura 3.4.

Figura 3.3 - Diagrama elétrico trifilar das ligações do quadro de comando.



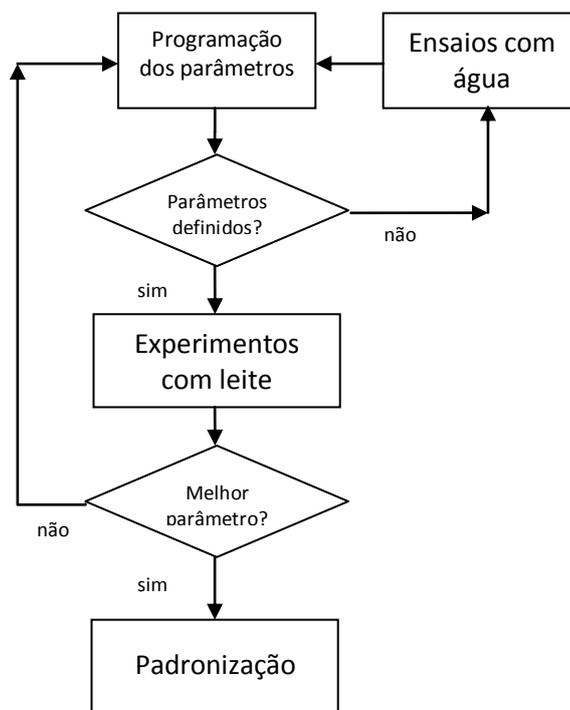
3.5.2 Ensaios preliminares e definição de parâmetros

Para início dos testes foi feita uma calibração dos sensores de temperatura em um banho com água aquecida por uma resistência elétrica. Foi utilizado como padrão um termômetro de mercúrio marca “INCOTERM” e um indicador de voltagem no display do relé programável para comparação da relação “temperatura x voltagem”. Os primeiros ensaios foram realizados com água potável e leite integral bombeados através de uma bomba peristáltica com vazão nominal de 5 L.h^{-1} ; após ajustes de manutenção essa vazão nominal aumentou para L.h^{-1} .

Foram realizados ensaios com água potável para definição dos parâmetros de programação do relé; sendo a variável controlada a temperatura de saída e a variável manipulada a dosagem de suspensão.

O leite, com 14 % de extrato seco, foi submetido à secagem por atomização, onde foram mantidas as condições de processo: temperaturas do gás de entrada (T_e) e de saída (T_s) a $85 \text{ }^\circ\text{C}$ e $65 \text{ }^\circ\text{C}$, respectivamente e a pressão do ar de atomização (P_{at}) a 1,5 bar. A vazão média de alimentação foi controlada através do algoritmo de programação do relé, desenvolvido através do software “CLICK EDIT 2” escrito em blocos lógicos. Na Figura 3.4 é mostrado o fluxograma para definição dos parâmetros de programação.

Figura 3.4 fluxograma para determinação dos parâmetros do relé programável

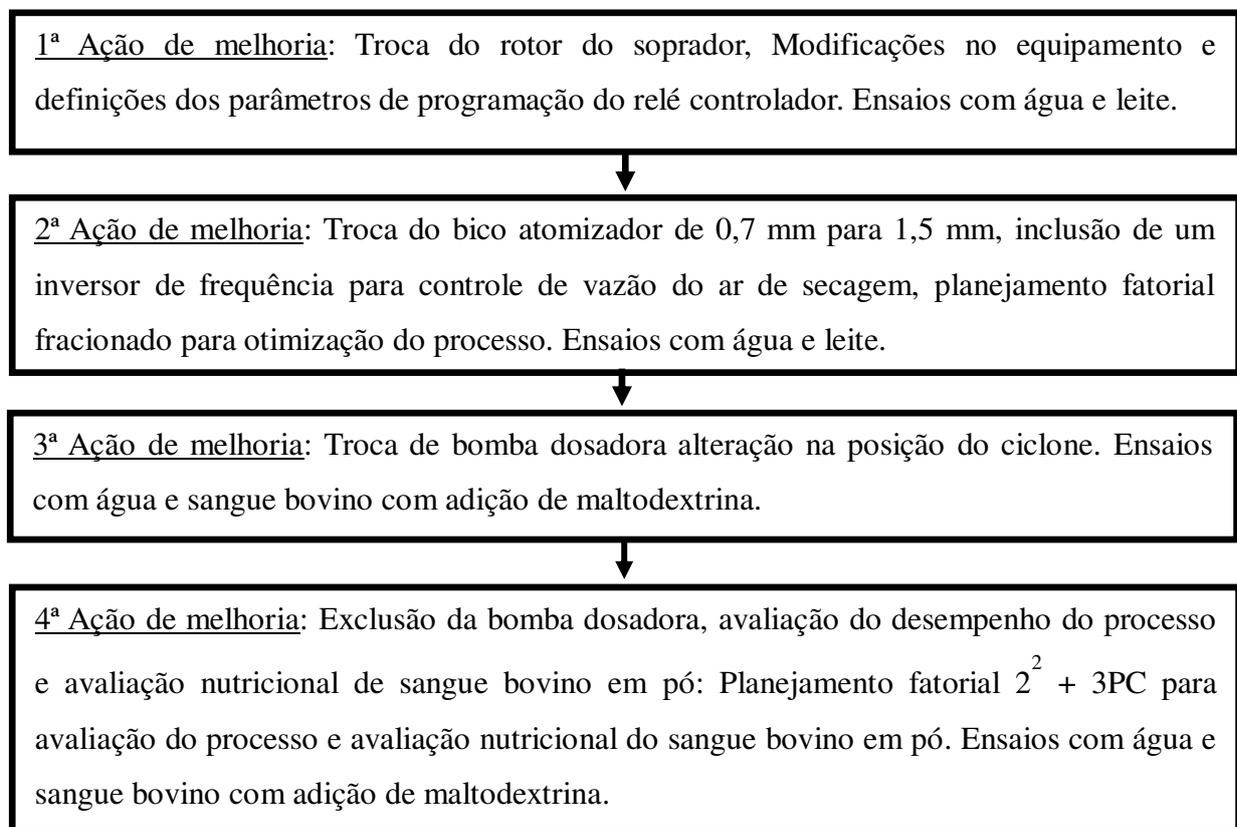


Quando a temperatura de saída ultrapassa o limite inferior, a dosagem de suspensão é bloqueada através da parada da bomba peristáltica e do fechamento da válvula de alimentação, até que retorne a temperatura desejada.

3.6 Ações de melhorias

As ações de melhorias foram baseadas no desempenho medido através das variáveis produção de pó ($PR_{pó}$) e matéria seca do pó obtido ($MS_{pó}$). Cada etapa das ações de melhorias (Figura 3.5) foi proposta após as análises das causas dos problemas que influenciavam o desempenho.

Figura 3.5 - Fluxograma das ações de melhorias do processo de secagem por atomização



3.6.1 Primeira ação de melhoria

Foram utilizados termostatos, temporizadores e comparador analógico, de um relé programável, modelo CLW-2/20HR-D, marca WEG e o software de programação “CLICK EDIT 2” escrito em blocos lógicos. Os tempos foram definidos através da realização de ensaios com água.

Nessa etapa foram adicionados os seguintes implementos:

- o rotor do soprador foi trocado de 180 mm para 220 mm;
- o temporizador no modo simples foi trocado por um temporizador oscilador no controle da vazão da bomba dosadora (por meio de programação);
- a temperatura foi aumentada para funcionamento das resistências em 100%; e
- um temporizador com retardo na desenergização foi instalado as resistências R1.

O leite foi submetido à secagem por atomização, onde foram mantidas as condições de processo:

- temperatura de entrada (T_{ep}), programada através de um termostato, para desligar a resistência quando a temperatura do gás de entrada ultrapassasse 109 °C e um temporizador programado tempo (t_1) para acionar as resistências em tempos diferentes, na forma de rampa;
- temperatura de saída (T_{sp}) controlada por adição de leite, através de um termostato programado para desligar a bomba peristáltica BP e a válvula solenóide de fornecimento do ar de atomização S_{ar} , à temperatura menor que 69 °C associado à esse circuito, um temporizador para o sistema de dosagem (BP) e válvula solenóide de suspensão (S_s) com retardo na energização t_2 para a BP com dois modos de tempo, tempo ligada (t_3) e tempo desligada (t_4), um temporizador para o acionamento da solenóide do ar de atomização (S_{at}) com retardo na desenergização (t_5) para evitar gotas grandes na desenergização da BP e um comparador analógico para desligar BP quando ocorrer uma diferença mínima de 7 °C entre as temperaturas de (T_{ep}) e (T_{sp}), $\Delta T = (T_{ep} - T_{sp})$ ajustado para evitar grande número de gotículas de leite com formação de crostas, nas quais sofrem aumento brusco de temperatura (CLEMENT et al, 1991).

A vazão do ar de secagem, V_s , foi obtida com a mudança no sentido de rotação do rotor do soprador, sentido horário 78 m³/h e sentido anti-horário 82 m³/h. A pressão do ar de atomização P_{at} foi controlada por um regulador atuado por molas, ajustado para 2 bar; temperatura do leite na entrada a 20 °C.

3.6.2 Segunda ação de melhoria

Nessa etapa foram feitos os seguintes implementos:

- foi adquirido um bico atomizador de 1,5 mm com o objetivo de melhorar o rendimento de coleta de pó, mantendo a umidade sem perder a eficiência de produção;
- foi adquirido um aquisitor de dados modelo Easy Lab IO marca DMA para observar temperatura na câmara de secagem;
- foi instalado um inversor de frequência para garantir o controle da vazão do ar de secagem através da rotação do soprador;
- foram alterados o modo temporizador para os tempos de acionamento t_3 e tempo de bloqueio de líquidos t_4 antes na razão 3/2 para reduzir problemas com o excesso de líquido na câmara de secagem.

Com esses implementos foi elaborado um planejamento fatorial fracionado 2^{4-1} com três pontos centrais, totalizando 11 ensaios, de acordo com a matriz do planejamento mostrado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 Matriz do planejamento fatorial fracionado 2^{4-1} com três pontos centrais.

Experimento	P_{at} , bar	t_3 , s	t_4 , s	h_{pitot} , mm
1	1	10	9	70
2	3	10	9	90
3	1	24	9	90
4	3	24	9	70
5	1	10	23	90
6	3	10	23	70
7	1	24	23	70
8	3	24	23	90
9	2	17	16	80
10	2	17	16	80
11	2	17	16	80

Os parâmetros T_e , T_s e h_{bico} foram mantidos constantes. As variáveis respostas foram rendimento de coleta de pó (R%), vazão média de água ($Q_{\text{água}}$) e vazão média de leite (Q_{leite}).

3.6.3 Terceira ação de melhoria

Com os resultados obtidos na ação anterior foram adotadas as seguintes medidas de melhorias:

- alterações: nas posições dos ciclones separadores de pó que estavam no topo da câmara de secagem para a posição a cima do cone;
- Instalação de uma bomba dosadora eletromagnética de diafragma,

Foi feita uma reprogramação do relé para a realização de ensaios de secagem de sangue bovino com adição de 0,24 % de anticoagulante à base de citrato de sódio, com ácido cítrico na proporção de 2:1 respectivamente, e 1,95 % de maltodextrina como adjuvante de secagem.

Na Tabela 3.3 são apresentados os valores das composições encontradas no sangue de bovinos em jejum de 12 horas de raça não definida.

Tabela 3.3 Composições do sangue bovino

Composição	Sangue bovino (1)	Sangue bovino (2)	Sangue bovino com anticoagulante	Suspensão de sangue
Matéria seca sólida	19,76	17,75	19,91	21,47
Proteína bruta	17,93*	16,44	17,84	17,49
Maltodextrina		-	0,00	1,95
Citrato de sódio		-	0,17	0,16
Ácido cítrico		-	0,08	0,08
Água	80,24	82,25	80,09	78,53

(1) –Coletado no matadouro público de Patos/PB

(2) - Dados fornecidos por MASSARO e PINTO (2002)

*Teor de proteína estimado a partir dos valores de MASSARO e PINTO (2002)

3.6.4 Quarta ação de melhoria com avaliação do processo e avaliação nutricional do sangue em pó

Nesta etapa a bomba dosadora foi desativada e a alimentação de sangue foi feita por gravidade. Foram realizados sete ensaios para otimização do processo através de um planejamento fatorial e um experimento para avaliação nutricional do sangue em pó. E foi realizado um ensaio para nutrição de codornas europeias através de um delineamento inteiramente ao acaso.

3.6.4.1 Avaliação do processo de secagem

Para avaliação do processo de secagem foi realizado um planejamento fatorial 2^2 com 3 repetições no ponto central, totalizando sete ensaios. Ao sangue bovino utilizado foi adicionado anticoagulante e maltodextrina.

O processo foi avaliado através das seguintes variáveis de resposta: produção de sangue em pó ($PR_{pó}$), umidade do pó ($U_{pó}$), rendimento de coleta de sangue em pó ($R_{pó}$), rendimento do ciclone ($R_{póci}$), temperatura de entrada (T_e). As variáveis independentes foram a pressão de atomização (P_{at}) e a rotação do rotor do soprador (ω). Os níveis reais e codificados das variáveis independentes são apresentados na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Níveis reais e codificados das variáveis independentes

Variáveis	Níveis		
	-1	0	+1
Pressão de atomização (bar)	2	2,5	3,0
Rotação do motor do soprador (rpm)	2350	2650	2950

3.6.4.2 Avaliação nutricional do sangue em pó

A alimentação das aves é um dos aspectos que pode interferir no sistema de produção por representar grande parte dos custos relacionados à atividade. O farelo de soja, principal ingrediente proteico em dietas para monogástricos do Brasil, apresenta ampla variação de preço, o que causa grande impacto nos custos da coturnicultura. Nesse contexto torna-se interessante a avaliação da viabilidade de utilização de alimentos alternativos ao farelo de soja.

A utilização de alimentos alternativos tem sido constante em rações para frangos de corte e galinhas de postura, mas na alimentação de codornas, pouco se tem estudado, considerando-se que essas aves apresentam diferenças fisiológicas e comportamentais, diferenciando-se das demais em eficiência alimentar e produtividade.

A farinha de sangue bovino é um alimento com alto teor de proteína bruta, porém é menos digestível que a farinha de carne e ossos, quando bem processada, possui altos teores de lisina que a torna útil na alimentação animal (LEESON e SUMMERS, 1997).

Com o grande crescimento da produção de codornas de corte no país, há a necessidade de buscar novas fontes proteicas para esses animais, de forma a diminuir os custos de produção e aumentar a produtividade deste setor.

Silva *et al.* (2012) realizaram um ensaio para nutrição de codornas europeias com o sangue em pó coletado, sendo avaliado o desempenho produtivo de codornas europeias (*Coturnix coturnix*) mistas.

Esse ensaio foi desenvolvido no CSTR/UFCG no setor de produção animal para avaliar níveis crescentes de sangue bovino em pó (PSB) para codornas de corte em diferentes fases de criação, no período de 8 a 21 dias. As aves utilizadas apresentaram peso médio inicial de 12,5 g.

Foram utilizadas 300 codornas alojadas em gaiolas sobrepostas de arame galvanizado com 0,33 x 0,38 x 0,16 m, alimentadas com ração e água a vontade durante todo o ensaio, sendo os comedouros utilizados tipo calha de cano PVC 110 mm e os bebedouros tipo *nipple*. Utilizou-se um programa de luz artificial + natural de 24 horas. As variáveis estudadas foram consumo de ração (CR), ganho de peso (GP) e conversão alimentar (CA). O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso, constituído de 6 níveis de sangue bovino em pó, com 5 repetições com 10 aves por unidade experimental. Os níveis de sangue bovino em pó (PSB) foram: 0; 2; 4; 6; 8 e 10%.

As rações experimentais foram formuladas a base de milho e farelo de soja, de acordo com as recomendações de SILVA e COSTA (2009). As rações foram calculadas de forma a serem isocalóricas e isoprotéicas, formuladas para atender as exigências nutricionais das aves, sendo substituído parcialmente o farelo de soja por concentrações crescentes de sangue bovino em pó (PSB).

O desempenho das aves foi analisado utilizando-se das médias de conversão alimentar (CA), consumo de ração (CR) e ganho de peso (GP).

A análise de regressão foi empregada para avaliar o desempenho produtivo (CA, CR e GP), adotando-se o nível de significância de 5% de probabilidade, utilizando as funções linear e quadrática do software estatístico SAS (2008).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Construção do sistema de secagem

A câmara de secagem é ilustrada na Figura 4.1, onde é observado o cone, a parte cilíndrica e os ciclones; é observado também que o aparato experimental foi montado com partes unidas por flanges facilitando a desmontagem e adequação da configuração do secador.

O quadro de comando (Figura 4.2) e o relé programável (Figura 4.3) apresentam vantagens por possuir componentes como: comparadores analógicos, comparadores digitais, temporizadores e contadores, que podem ser associados a chaves para comunicar entre si, por meio de programação lógica, adequando-se às necessidades do processo, sem a obrigatoriedade de instalação de outros elementos eletroeletrônicos.

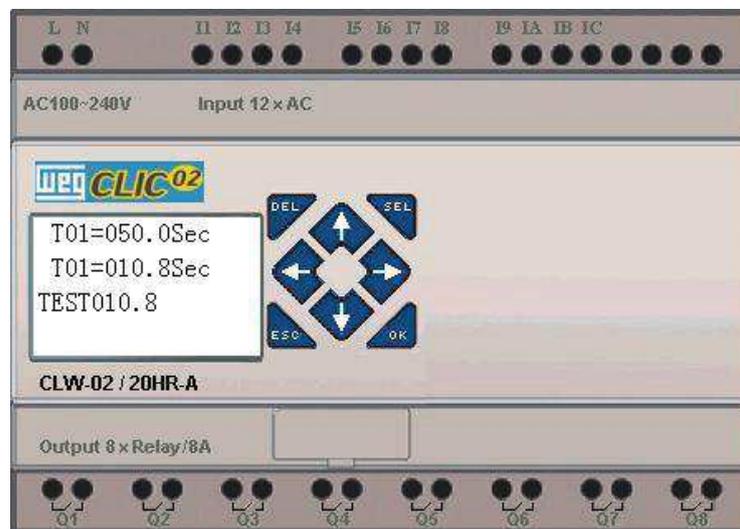
Figura 4.1 Câmara de secagem



Figura 4.2 Quadro de comando montado



Figura 4.3 Relé programável modelo CLW-02/20HR-A



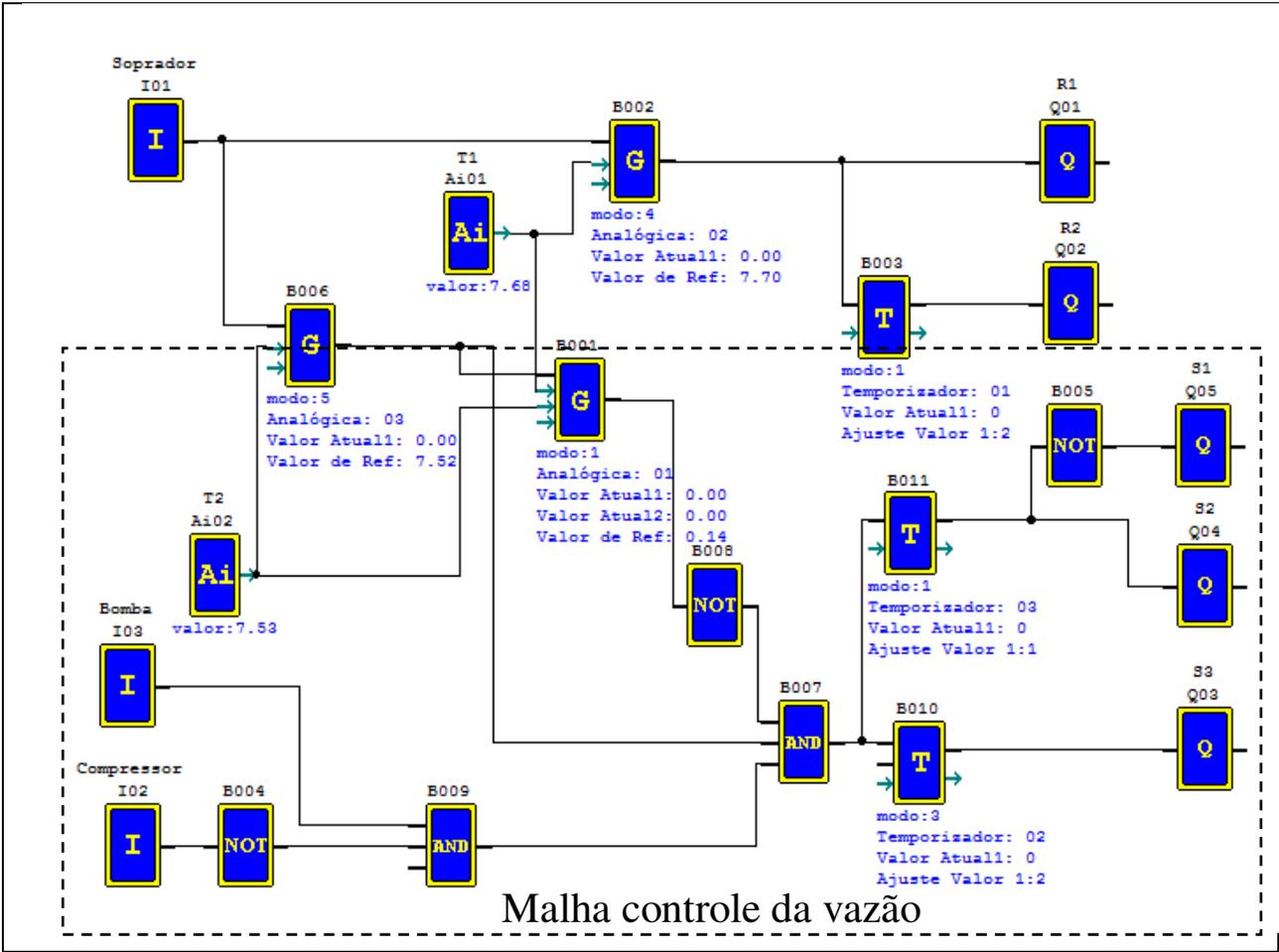
4.2 Ensaios preliminares e definição de parâmetros

As duas malhas de controle elaboradas, uma para controle de temperatura dos gases de entrada e outra para controle da temperatura dos gases de saída manipulando-se a vazão de alimentação. Para garantir que as resistências R1 e R2 não fossem danificadas estas só puderam

ser acionadas quando o soprador estivesse ligado. A resistência R2 foi acionada após dois segundos do acionamento da resistência R1 para evitar problemas de ruído ou retorno de corrente elétrica através das bobinas eletromagnéticas das chaves de contato ou chaves de acionamento que acionam as resistências. A temperatura dos gases de saída controlada pela alimentação de suspensão através do atomizador constituído de bomba dosadora e ar de atomização.

A bomba dosadora só é acionada após o ar de atomização e quando a dosadora é desenergizada, o ar de atomização continua seu fluxo após trinta segundos para que o bico atomizador ficasse vazio e o mesmo para evitar entupimento. Se a temperatura de saída for superior a 5°C da programada, há possibilidade de falha na dosagem e a alimentação é interrompida, como mostra o algoritmo na Figura 4.4.

Figura 4.4 Algoritmo em diagrama de blocos lógicos para controle de vazão e controle de temperatura



Para os ensaios com água potável foi obtido uma vazão média de alimentação de 0,936 L/h e com leite *in natura* 0,360 L/h. Esta redução na taxa de evaporação deu-se pela vazão da bomba peristáltica cinco vezes acima da capacidade do processo. A produção pode ser maximizada com a redução da vazão da bomba peristáltica, e pelo aumento da vazão do ar de secagem que está bem abaixo da calculada que foi de 163,69 m³.h⁻¹. O sistema também oferece outras condições como alterar a diferença entre as temperaturas T_e e T_s; ligar as resistências no instante da dosagem sem comprometer a diferença de temperatura; variar a pressão do ar de atomização, outras alterações que podem ser feitas alterando a programação.

Os temporizadores das bobinas B10 e B11 foram incluídos para evitar respingos ao parar a atomização e evitar entupimentos ao secar suspensão acumulada no bico atomizador.

Nas condições de processo adotadas o produto final apresentou umidade de 3,5 %, eficiência de produção de 11,53% e rendimento de coleta de pó de 10%. O resultado da caracterização físico-química do leite bovino nas etapas do processamento está apresentado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 Caracterização físico-química do leite bovino.

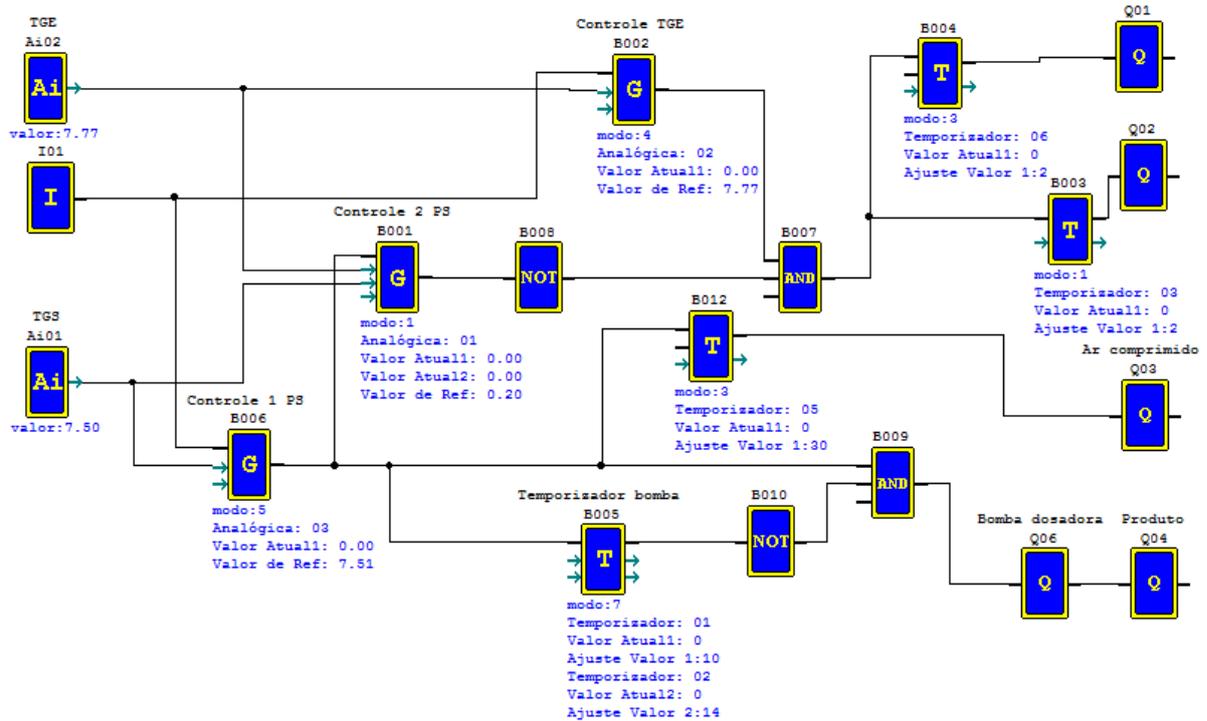
Propriedades do Leite Bovino	" <i>in natura</i> "	em pó reconstituído
Acidez (% , bs)	1,7	-
Gordura (% , bs)	36,6	33,7
Proteínas (% , bs)	34,8	34,6

O produto apresentou na sua composição centesimal, valores de umidade de 3,5 %; de gordura, 33,7 %; e de proteínas de 34,6 %. O produto foi classificado como parcialmente desnatado (BRASIL, 1996). Foi observada no fim da produção ao abrir o equipamento, que na parte inferior do cone ficou aderida uma camada de gordura, podendo ter ocorrido um fracionamento do leite. Pode-se melhorar a classificação do leite em pó, reduzindo o tempo de secagem com a otimização da vazão, caso não seja satisfatório pode-se aumentar a diferença entre as temperaturas T_e e T_s.

4.3 Primeira ação de melhoria

Nesta etapa foi incluído um temporizador com retardo na desenergização na malha de controle da temperatura e um temporizador oscilador na malha de controle de vazão de produto, como mostra a Figura 4.5.

Figura 4.5 Diagrama de programação com temporizador da bomba no modo oscilador.
 Legenda: Ai, entrada analógica; I, entrada digital; G, comparador analógico; T, temporizador; NOT, comando negado; AND, soma de comandos; Q, chaves de acionamento de dispositivos.



Foram modificadas as vazões de ar de secagem V_s e os parâmetros de dosagem da bomba peristáltica BP, t_3 e t_4 mantendo a proporção $t_3/t_4 = 3/2$. A resposta à estas mudanças apresentadas na Tabela. 4.2, mostra uma tendência no aumento da vazão de leite Q_e aumento na taxa de produção de leite em pó recuperado $Q_{PÓ}$ quando aumentada a frequência de dosagem f e uma redução proporcional a o ar de secagem, fatos que influenciam no tempo de residência das gotículas de leite no secador, uma frequência menor de dosagem, contribuiu para o aumento de gotículas com tempos de residência maiores isto influenciado na formação de um número maior de gotículas com crostas onde influenciou na maior $U_{PÓ}$ e GOR.

Tabela 4.2 Parâmetros de processo

Ensaio	1	2	3	4
Matéria prima				
m, (g)	1961	1853	1929	2024
EST ₁ , %	13,4	13,2	13,3	13,6
G _{bs} , %	31,3	31,1	30,2	30,1
Configuração do aparato				
P _{at} , (bar)	2	2	2	2
V _S , (m ³ h ⁻¹)	78	82	82	82
Q _{BP} , (g min ⁻¹)	83	83	83	83
Parâmetros do relé programável				
t ₁ , s	2	2	2	2
t ₂ , s	1	1	1	1
t ₃ , s	30	30	30	12
t ₄ , s	20	20	20	8
f, min s ⁻¹	1,2	1,2	1,2	3
t ₅ , s	30	30	30	30
T _{ep} , °C	118	118	118	118
T _{sp} , °C	69	69	69	69
Resultados				
t _p , min	50	41	46	32
QM, g min ⁻¹	39	45	42	63
Q _{pó} , g min ⁻¹	0,80	1,16	1,02	1,53
T _{em}	115	118	118	118
T _{sm}	68	68	71	71
R, %	14	18	18	17
EST _{pó} , %	94,7	94,7	97,0	95,7
U _{pó} , %	5,3	5,3	3,0	4,3
G _{bs} , %	26,8	24,2	20,8	23,8

O rendimento de coleta de pó manteve-se próximo de 17% considerado baixo possivelmente em função das dimensões das partículas de leite em pó e em função das dimensões do ciclone normalizado por STAIRMAND (1951) necessitando melhorias no processo, alterando as dimensões das partículas de pó e aumentando a vazão que passa pelo ciclone. Problemas de condensação no fundo da coluna ocorreram após 10 a 20 minutos de processamento pelo acúmulo de vapor no fundo da coluna, devido o equipamento ser incapaz de arrastar o vapor, este problema reduz a eficiência de secagem.

4.4 Segunda ação de melhoria

Na Tabela 4.3 são exibidos os resultados obtidos nos experimentos realizados na segunda ação de melhoria conforme o planejamento experimental. Verifica-se que os melhores resultados referem-se aos experimentos realizados nas condições do ponto central com rendimentos de coleta próximos a 20% valores ainda baixos e que inviabilizaram economicamente o processo.

Tabela 4.3 Matriz resposta do planejamento fatorial fracionado 2^{4-1} com três pontos centrais.

Experimento	P _{at} , bar	$\Delta t_{cinj.}$, s	$\Delta t_{sinj.}$, s	h _{pitot} , mm	R%	Q _{agua} , g.min ⁻¹	Q _{leite}
1	1	10	9	70			
2	3	10	9	90	15,18	33,44	40,25
3	1	24	9	90			
4	3	24	9	70	8,48	42,19	46,55
5	1	10	23	90	2,13	25,30	33,00
6	3	10	23	70			
7	1	24	23	70	2,7	43,81	32,33
8	3	24	23	90	6,17	38,97	44,53
9	2	17	16	80			
10	2	17	16	80	20,00	23,00	33,11
11	2	17	16	80	24,8	32,97	37,96

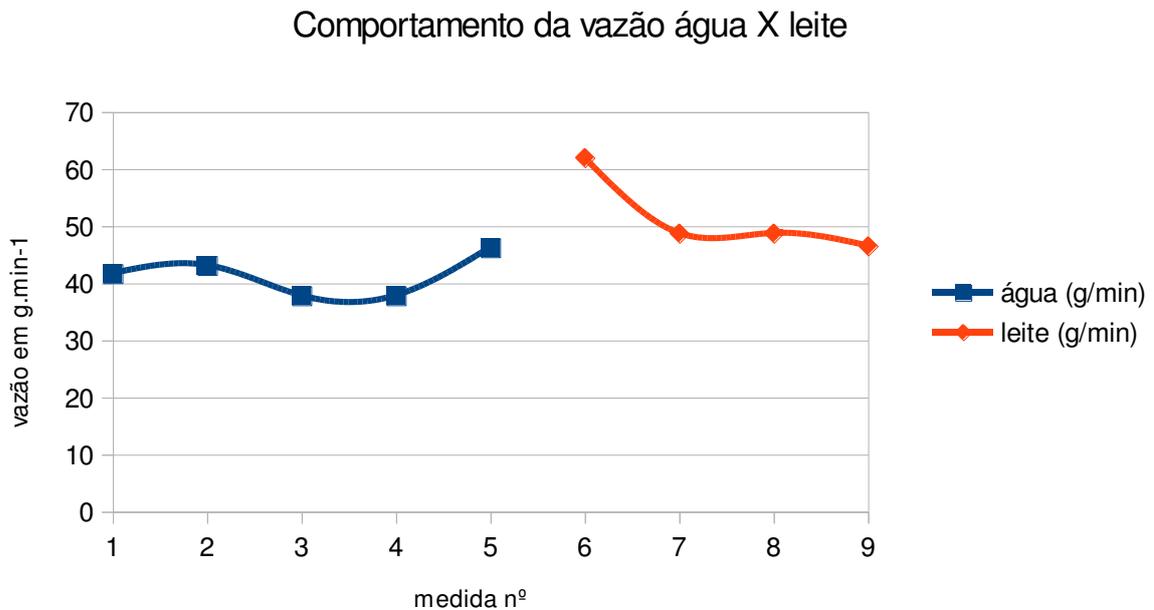
E% = fração de sólidos na suspensão/fração de sólidos no pó

Durante os experimentos a condensação de produto na câmara de secagem, provocou perdas pelo acúmulo de produtos no fundo da coluna. Foi o principal problema que impediu a continuidade do experimento sendo necessária uma reavaliação e modificações no equipamento para solução. O estudo realizado por NEGREE (2000) serviu de orientação que gerou uma hipótese de que sempre haverá um acúmulo de vapor no secador mesmo que a secagem ocorra a altas temperaturas e que o acúmulo de vapor tem influencia direta na umidade do pó, com temperaturas mais baixas de secagem esse efeito deve ser mais significativo. Foi observado que nos experimentos realizados pelos autores que trabalharam com secadores com ar de secagem em contracorrente principalmente secadores em Leito de Jorro, os equipamentos apresentam pequenas dimensões, colunas com altura pouco superior a 70 cm que favorece o arraste do vapor. Verifica-se que a maioria dos secadores por atomização são montados em cocorrente e descendente, a saída de pó fica nas partes inferiores, base da coluna e na parte lateral acima do cone, através de um ciclone o qual facilita a saída de vapor.

Na Figura 4.6 observa-se que a vazão aumenta com o teor de sólidos, na troca de produto o secador com uma umidade interna menor, permite uma vazão maior, quando a câmara de secagem tem sua temperatura reduzida pelo aumento da umidade, a vazão atinge um controle

obedece a uma função senóide, característica de um controle Liga – Desliga. Em tese a vazão poderá variar com a umidade e temperatura ambiente, em dias úmidos a vazão será menor e em dias secos a vazão será maior.

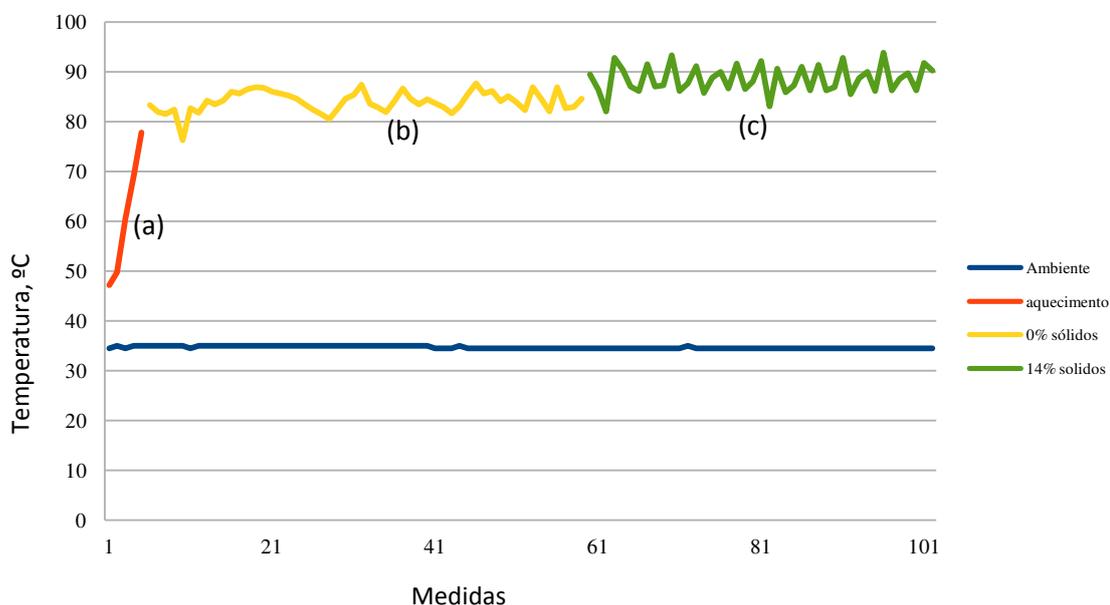
Figura 4.6 Comportamento da vazão de água e da vazão de leite *in natura*, vazão inicial com água, e vazão com leite integral 14% de sólidos (Tabela 4.3 experimento 4).



Observa-se ainda que a vazão aumenta automaticamente com a redução dos bloqueios de quando há inclusão de sólidos com uma tendência de manter a taxa de evaporação de água.

A Figura 4.7 mostra a evolução da temperatura no interior do secador onde se observou um aumento da temperatura no interior do secador com o aumento do teor de sólidos do produto a processar e mantendo a temperatura na saída do secador. As temperaturas médias do processamento com água e leite medidas no interior do secador foram 84 °C e 88 °C respectivamente.

Figura 4.7 Curvas da temperatura no secador durante o experimento 4 da Tabela 9 Onde: (a) curva de aquecimento, (a) curva de evaporação de água, (c) curva de secagem de leite integral 14% de sólidos, dados gerados pelo aquisitor de dados Easy lab no interior do secador.



Na Figura 4.7 nota-se uma curva de aquecimento no início do processo até atingir a temperatura programada na saída do secador. Quando atingida a temperatura programada na saída do secador, inicia-se a alimentação de água automaticamente, neste momento pode ser feito um ajuste manual na vazão para minimizar a frequência de bloqueio de líquido e reduzir a amplitude da temperatura de saída para que a operação permaneça na faixa de 68°C a 71°C (7,50 mV e 7,54 mV valores programados no relé programável CLICK EDIT). Quanto menor a amplitude menor frequência de bloqueios. Após vinte minutos a água é substituída pela suspensão e o processo segue automaticamente, caso a temperatura de saída ultrapasse 5°C do valor programado, o processo deverá ser reiniciado, pois a adição de suspensão para atingir a temperatura de saída desejada supera a capacidade do processo, com tendência de condensação na câmara de secagem, ou obtenção de um produto com umidade fora de especificação.

4.5 Terceira ação de melhoria

A terceira ação de melhoria foi realizada com suspensão de sangue de composição, conforme Tabela 3.3, composta por bovino citrato de sódio, ácido cítrico e maltodextrina. Na Figura 4.8 (b) e (c) é apresentado o equipamento modificado com os ciclones na parte inferior acoplado acima do cone da câmara de secagem que favorece a descarga de vapor de solvente, a bomba dosadora eletromagnética com (mL por pulso) funcionou a 100% com 150 pulsos por

minuto, com estas modificações o equipamento ficou com uma capacidade de evaporação de 1,5 litros por hora com gases de entrada a 110 °C e saída a 70 °C, que comparado com o equipamento da empresa Spray Process da Tabela 4.4, verifica-se resultados similares.

Tabela 4.4 Especificações técnicas de um secador por atomização. SPRAY PROCESS, 2009.

AR DE SECAGEM		EVAPORAÇÃO ÁGUA litros/hora	CONSUMO COMBUST. kcal/h x 1000	F. MOTRIZ kw/hora	DIÂMETRO CÂMARA m	ESPAÇO REQUERIDO m	PARAMETRO DE PRODUÇÃO
TEMPERATURA °C ENTRADA	SAIDA						
PLANTA MODELO DR - 0,3							
150	75	1,5	4,5	1	0,6	1 X 2 x h: 2	0,4
175	80	2	6				
190	80	2,5	7,5				
220	80	3	9				
250	80	3,5	10,5				

Obteve-se rendimento de 61% na produção de sangue em pó com umidade de 4,5%. A modificação sugerida na etapa anterior surtiu resultado de melhoria na eficiência, os resultados para vazão não foram observados por haver uma preocupação maior com a eficiência que era um problema crítico a resolver, pode-se afirmar, entretanto que foi superior à vazão com água potável.

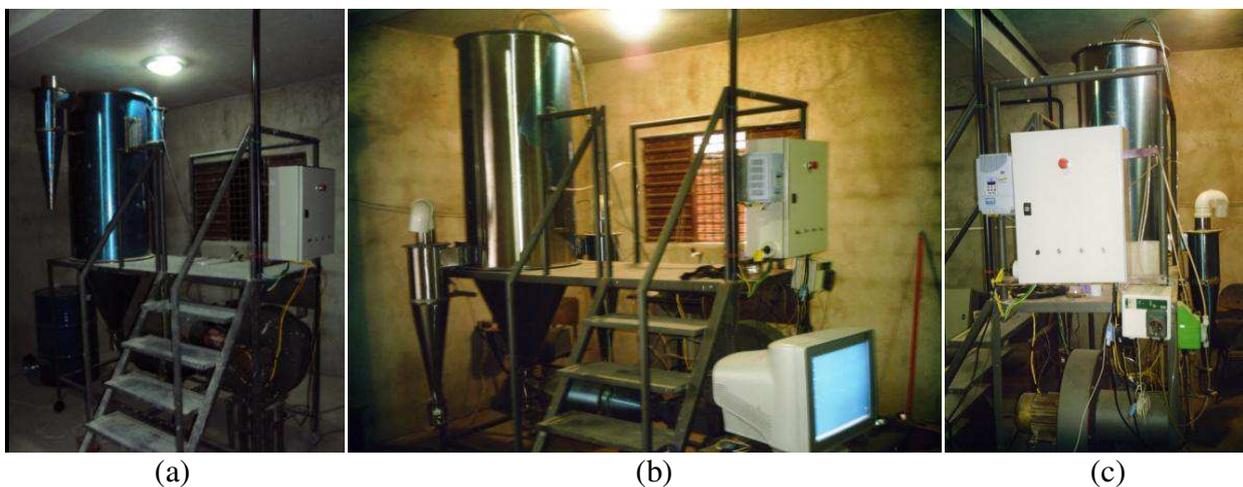
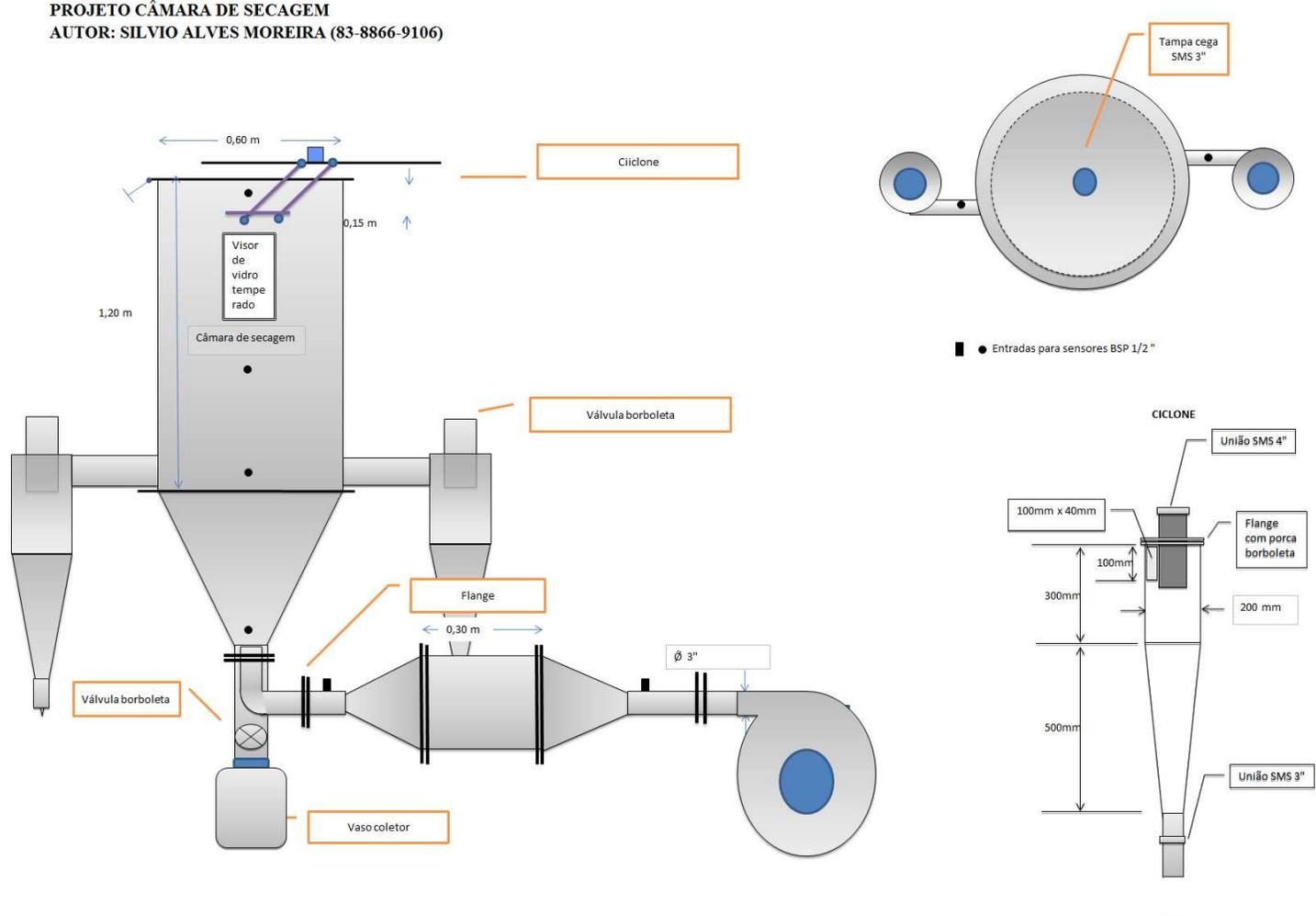


Figura 4.8 Modificação na posição dos ciclones. Onde: (a) ciclone na parte superior, (b) e (c) ciclone na parte inferior acima do cone da câmara de secagem.

A Figura 4.9 apresenta o projeto do equipamento modificado, com a inclusão dos ciclones na parte inferior do cilindro e acima do cone da câmara de secagem com fluxo concêntrico e ascendente do ar de secagem. O fluxo concêntrico e ascendente do ar de secagem.

Figura 4.9 Projeto final da câmara de secagem após modificações com ciclones instalados na base do cilindro e acima do cone.



PADILHA (2006) utilizou como anticoagulante o citrato de sódio 1%, maltodextrina 3%, e secagem a 180 °C com temperatura de saída 80 °C em planta piloto marca APV, porém não foram informados dados de eficiência de secagem e umidade do sangue em pó obtido.

4.6 Quarta ação de melhoria com avaliação do processo e avaliação nutricional do sangue em pó

Os resultados obtidos nesta etapa conforme Tabela 4.5 mostram que o processo atende às exigências de identidade do sangue em pó conforme o RIISPOA (1952) do Ministério da Agricultura que admite adição de anticoagulante, conteúdo mínimo de proteínas de 85% e umidade máxima de 8%.

Tabela 4.5 Composição do sangue em pó obtido

Composição	Sangue em pó composto	Sangue em pó*
Matéria seca sólida	95,65	95,70
Proteína bruta	77,94	86,86
Maltodextrina	8,69	-
Citrato de sódio	0,73	-
Ácido cítrico	0,36	-
Água	4,35	4,30

*valor obtido por estequiometria do sangue em pó composto.

A Figura 4.10 mostra o aspecto do sangue em pó obtido, na data da produção em 14 de julho de 2012 com boa fluidez e cor vermelha e após 213 dias com cor marrom claro e boa fluidez mesmo sem acondicionamento adequado.

Figura 4.10 Sangue em pó obtido por atomização. Onde (a) após produção em 14/07/2012 e (b) após 213 dias



4.6.1. Avaliação do processo de secagem

A avaliação do desempenho da produção do sangue bovino pode ser observada na Tabela 4.6. Um planejamento fatorial 2^2 com 3 réplicas no ponto centrais.

Tabela 4.6. Resultados dos experimentos de secagem do sangue bovino

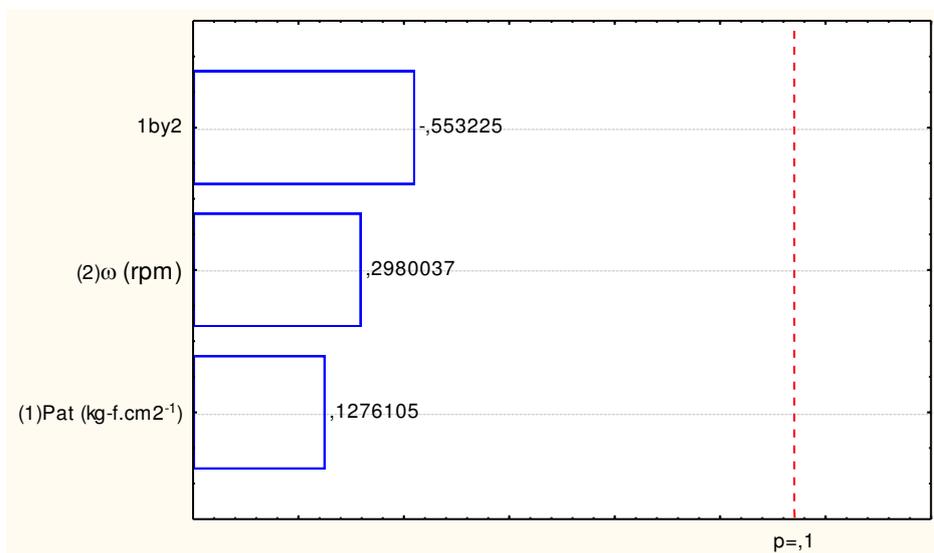
exp	x_1	x_2	E, %	Te, °C	U% pó	R%	Rci%
1	-1	-1	54,23	110	5	82	32
2	+1	-1	63,46	110	6	61	27
3	-1	+1	65,77	100	4	68	22
4	+1	+1	60,00	100	5	78	56
5	0	0	80,77	110	4	89	41
6	0	0	62,31	110	4	91	46
7	0	0	80,77	110	5	75	30

A eficiência de produção do sangue em pó apresentou resultados entre 54,23 a 80,77 % da produção nominal de 520 g.h^{-1} , ou seja 282 g.h^{-1} e 420 g.h^{-1} com amplitude de 138 g.h^{-1} . O ponto central teve uma amplitude de 96 g.h^{-1} a diferença da amplitude dos experimentos e a amplitude do ponto central são de 42 g.h^{-1} , ou seja houve uma grande variação no ponto central atribuída ao sangue por tratar de um produto biológico fato que ocorreu com a troca do lote de sangue in natura para o experimento 6, uma alternativa seria desenvolver metodologia para padronização das propriedades reológicas do sangue bovino, principalmente no controle da viscosidade pela dosagem e tipo de anticoagulante. Este problema pode ser resolvido aumentando-se a quantidade

de anticoagulante até o limite aceitável de acordo com o objetivo nutricional ou utilização do sangue em pó. Outra solução seria uma alimentação por um sistema de bombeamento de deslocamento positivo, com a inclusão de uma bomba dosadora de deslocamento positivo e um inversor de frequência traz aumento de cerca de 50 % do custo do equipamento para equipamentos de baixa produção. Sem investimentos essa operação pode ser ajustada pelo operador quando ocorrer mudanças nas propriedades reológicas do sangue com anticoagulante, a inclusão de um rotâmetro pode ajudar ao operador controlar o processo.

Devido o sangue ser um produto biológico, atribuiu-se um nível de significância de $p < 0,1$ e um intervalo de confiança de 90% no estudo estatístico das variáveis. Apesar do modelo proposto para a produção de sangue em pó não ter apresentado variáveis significativas, verifica-se que os melhores resultados estão no ponto central. Ao analisar o gráfico de Pareto Figura 4.11, verifica-se que há uma contribuição negativa para a interação das variáveis, ou seja, se ocorrer aumento da vazão do ar de secagem e aumento da pressão de atomização, há uma tendência para diminuição da eficiência de produção de pó.

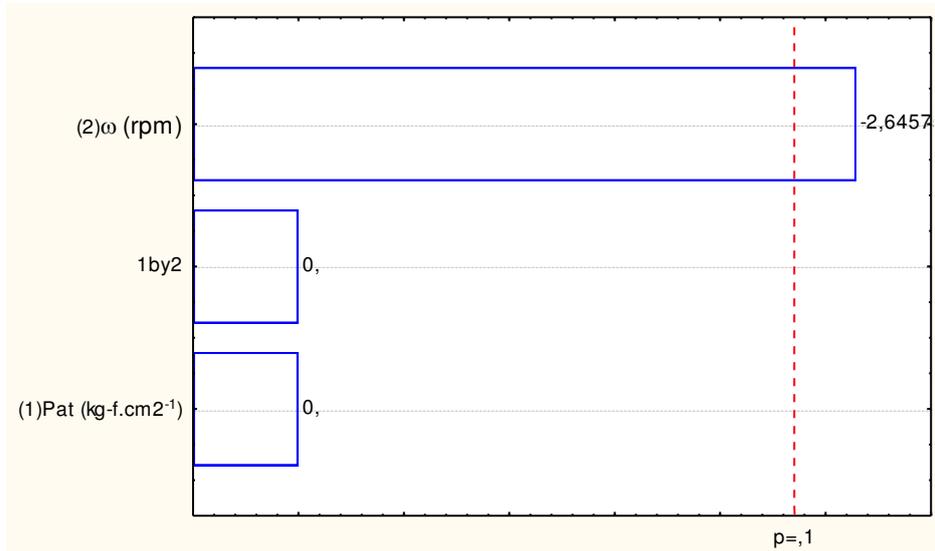
Figura 4.11 Diagrama de Pareto para a variável eficiência de produção de sangue em pó.



Na análise da temperatura de entrada T_e , houve efeito da variável rotação do rotor do soprador ω , conforme mostra o diagrama de Pareto na Figura 4.12 onde há um efeito negativo com o aumento da rotação, a temperatura de entrada deveria ser mantida em 110 °C, o que sugere alterações no secador para como incluir isolamento térmico e

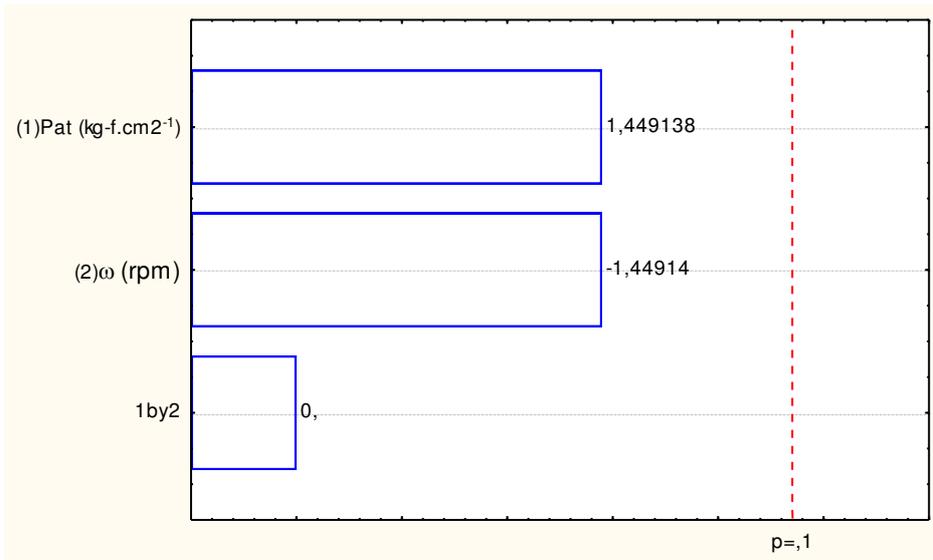
aumento da potência do trocador de calor para evitar perdas térmicas e abaixamento da temperatura com o aumento da vazão do ar de secagem.

Figura 4.12. Diagrama de Pareto para a variável temperatura do ar de secagem.



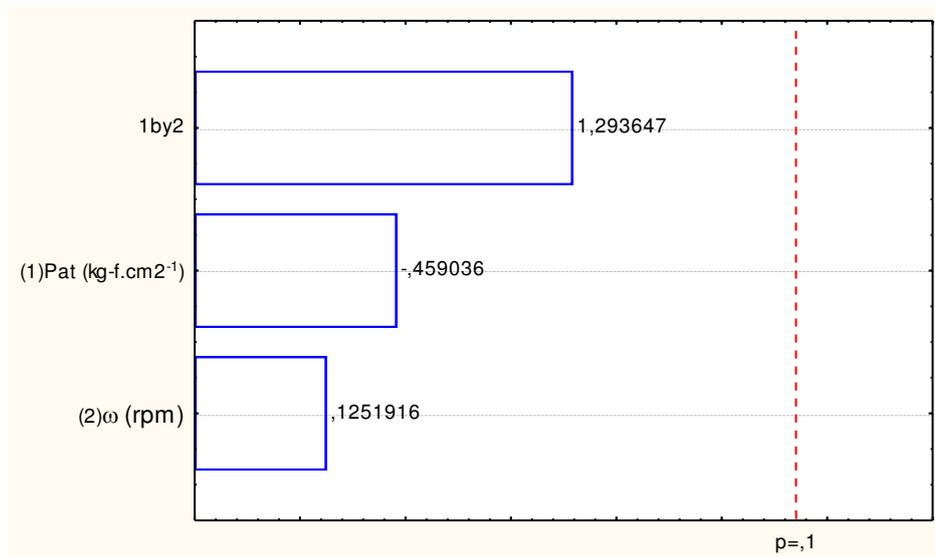
Na análise da umidade do sangue em pó de acordo com a Figura 4.13 que mostra interações inversas, ou seja, como esperado, quando há um aumento da pressão de atomização também há aumento na umidade do produto, por outro lado quando se aumenta a vazão do ar de atomização através da rotação do rotor do soprador ocorre diminuição da umidade do sangue em pó, com isto, não houve efeitos estatisticamente significativos o que confirma a eficácia do controle da umidade através da temperatura de saída com resultados em uma margem de segurança onde a admite-se uma umidade máxima de 8%, isto significa que o processo garante a umidade na faixa estudada. Seria necessário um incremento na potência do trocador de calor para manter a temperatura em 110 °C pode trazer resultados significativos com baixo custo de investimento para o aumento da produção de pó com a manutenção da umidade. Estes resultados indicam que o secador está limitado à temperatura de secagem um aumento da vazão do ar de secagem prejudica o processo com a diminuição da temperatura de secagem.

Figura 4.13. Efeito da variável umidade do sangue em pó.



Na análise do rendimento de produção de sangue em pó onde o resultado desejado deve ser próximo de 100%, verifica-se qualitativamente que a pressão de atomização tem efeito antagônico, a vazão do ar de secagem fornece e a interação das variáveis Pat e ω traz efeitos positivos de acordo com a Figura 4.14.

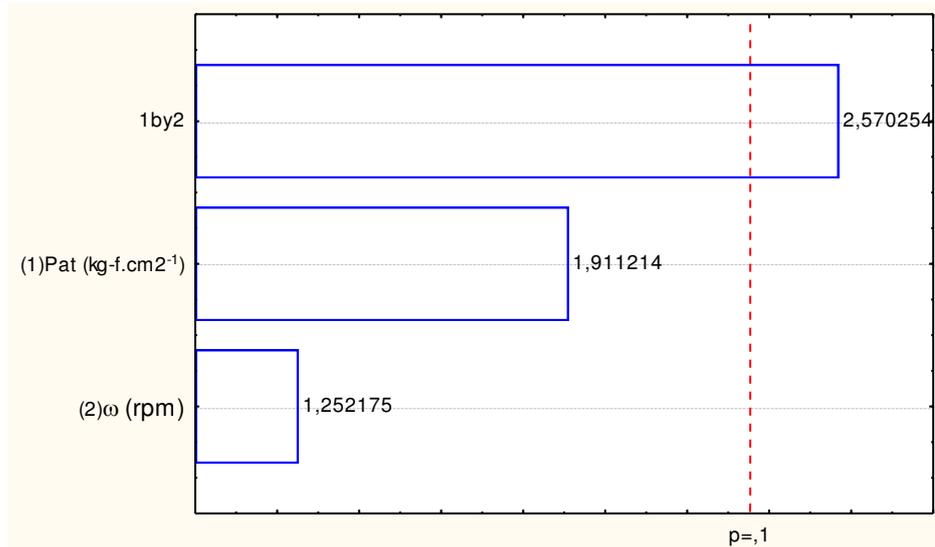
Figura 4.14. Efeito da variável rendimento de coleta de pó no secador.



O rendimento de coleta de sangue em pó nos ciclones pode ser verificado de acordo com a figura 4.15 em que dados demonstram a combinação dos fatores pressão de atomização Pat e ω , os resultados estão diretamente relacionados com a interação dos

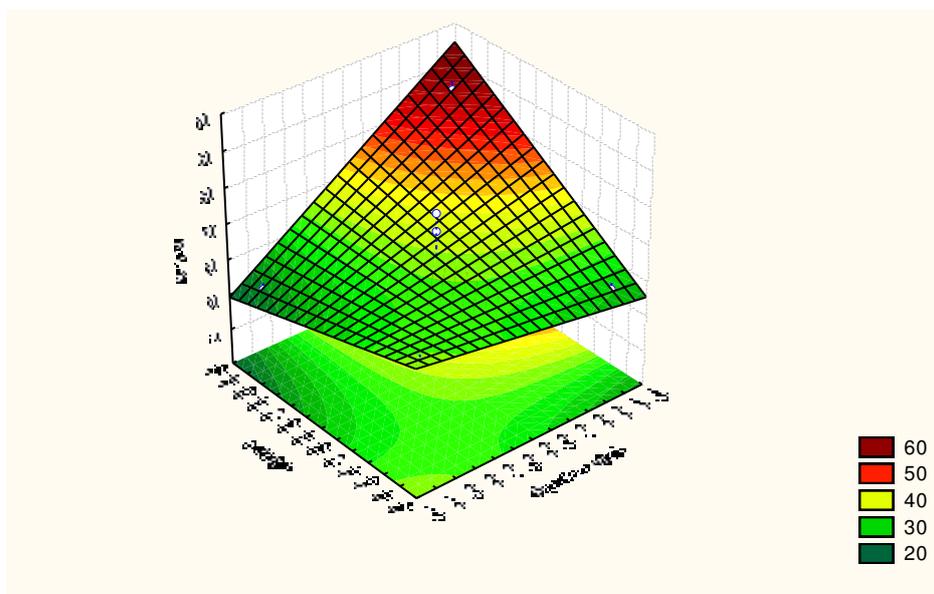
fatores vazão de ar de secagem representada pela rotação do rotor do soprador ω e a pressão de atomização.

Figura 4.15 Diagrama de Pareto para o rendimento de coleta de pó no ciclone.



A Figura 4.16 mostra a superfície de resposta para o rendimento de coleta de pó no ciclone onde o valor máximo de rendimento do ciclone aponta para valores máximos de rotação do rotor do soprador e da pressão de atomização.

Figura 4.16. Superfície de resoste para o rendimento de coleta de pó no ciclone.



A Tabela 4.7 Apresenta um resumo das influencias das variáveis estudadas neste trabalho de tese, para as variáveis de resposta E, R e Rci os melhores resultados são para valores maiores; para a variável Upó menores valores correspondem a melhores resultados e os melhores resultados para Te ocorre quando não há influencia das variáveis Pat e Ω .

Tabela 4.7 Efeito das variáveis independentes e respostas.

variáveis	E, %	Te, °C	Upó, %	R, %	Rci, %
Pat, kgf.cm ⁻²	0,13	0	1,45	-0,46	1,91
Ω , rpm	0,30	-2,65*	-1,45	0,13	1,25
Interação Pat e w	-0,55	0	0	1,29	2,57*

Onde: E, eficiência de produção, Te, temperatura de entrada, Upó, umidade do pó, R, rendimento mássico do pó e Rci, rendimento mássico do pó no ciclone.

* Significativo a 90% de confiança.

Observa-se que é possível melhorar a eficiência através da anulação do efeito da Te com aumento da potencia do trocador de calor e aumento da vazão do ar de secagem, observados os limites da câmara de secagem que pode limitar o estado físico e ocorrer condensação no interior da câmara.

Também os valores do efeito da pressão do ar de atomização que influencia diretamente na vazão de alimentação e do efeito da vazão do ar de secagem através da rotação do soprador são opostos com valores iguais que indicam um equilíbrio entre umidificação e secagem.

4.6.2 Avaliação nutricional do sangue em pó

Os dados das médias de consumo de ração (CR), ganho de peso (GP) e conversão alimentar (CA) obtidos através da inclusão de níveis crescentes de Farinha de Sangue Bovino, na ração de codornas europeias na fase inicial de criação, entre 8 e 21 dias de idade, estão apresentados na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 Médias de Consumo de Ração, Ganho de Peso e Conversão Alimentar, utilizando níveis de Sangue Bovino em pó na ração de codornas europeias (*Coturnix coturnix*), na fase inicial, entre 8 e 21 dias de idade. Fonte (SILVA et al, 2012).

Tratamentos %	Consumo de ração	Ganho de peso	Conversão alimentar
0	125,90 b	56,03 c	2,26 b
2	133,29 b	57,20 c	2,34 b
4	137,21 b	60,23 bc	2,29 b
6	170,09 a	75,67 a	2,25 b
8	130,71 b	69,09 ba	1,89 b
10	174,80 a	53,03 c	3,32 a
Média geral	145,33	61,90	2,39
CV	12,15	16,68	16,96
Regressão	L	Q	Q

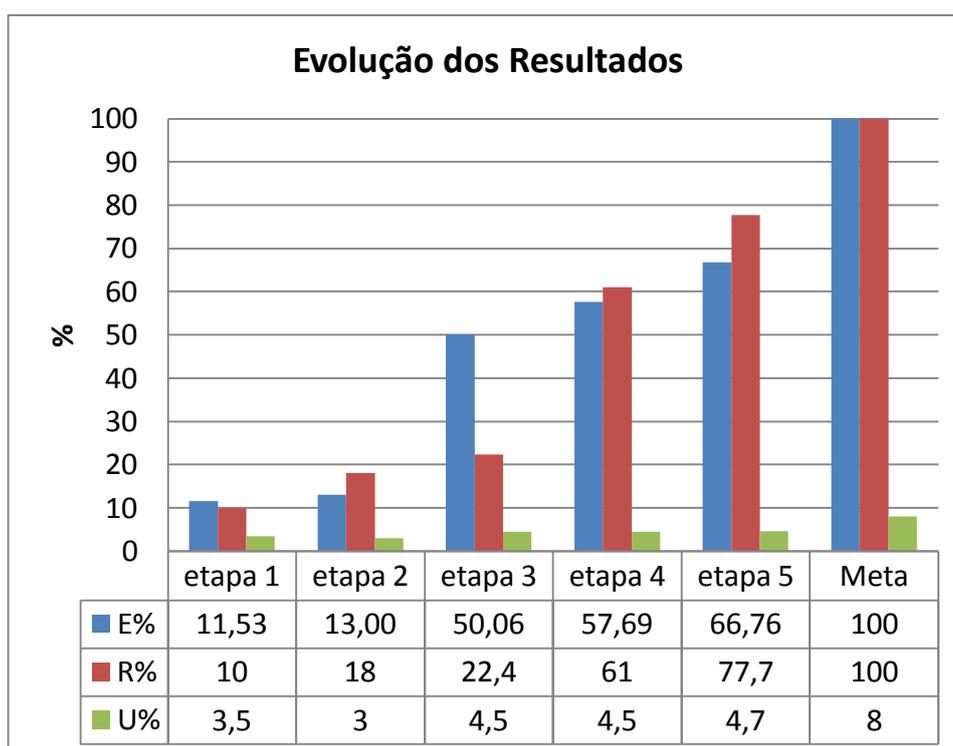
Médias seguidas de letras diferentes nas colunas são diferentes pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); L = efeito linear; Q = efeito quadrático; CV = Coeficiente de variação.

Verifica-se que houve diferença significativa ($P < 0,05\%$) entre os tratamentos para a variável consumo de ração, conforme verificado na tabela 1. Os melhores resultados ocorreram com níveis de 8% de sangue em pó na dieta (SILVA et al, 2012). Resultados de CR que foram obtidos nesta pesquisa, corroboram com os obtidos por CANCHERINI et al. (2005a) que observaram aumento no consumo de ração através da inclusão de Farinha de sangue bovino na dieta de frangos de corte.

4.6.3 Evolução do processo

Na análise da evolução do processo que ocorreu nas diversas etapas de desenvolvimento pode-se observar através da Figura 4.17 houve melhorias dos resultados nas cinco etapas de desenvolvimento do sistema de secagem.

Figura 4.17 Evolução dos resultados das médias das variáveis. Onde: E - eficiência de produção (meta 100 %), R - Rendimento de coleta de pó (meta 100 %) e U - Umidade do pó (meta < 8 %).



A etapa 1 corresponde à média dos resultados obtidos nos ensaios preliminares, e as etapa 2, etapa 3, etapa 4 e etapa 5 correspondem às ações de melhorias primeira, segunda, terceira e quarta respectivamente.

Para atingir melhores resultados é necessário realizar otimização na fluidez do sangue com adição de anticoagulante limitado ao RIISPOA (1952), e palatabilidade do consumidor final; instalação de resistências elétrica para aumento da temperatura do ar de secagem e aquisição de uma bomba dosadora de deslocamento positivo com inversor de frequência para dosagem mais precisa. No entanto em se tratando de equipamento de baixo custo não há necessidade da aquisição da bomba dosadora por ter um custo mais elevado

4.5.4 Custo do equipamento

Na Tabela 4.9 São apresentados gastos para construção de um secador por atomização. Não foram incluídos gastos com mão de obra, honorários e margem de segurança para garantir oscilações de preços.

Tabela 4.9 Gastos realizados para a confecção do equipamento		R\$
1	Compressor para ar de atomização 2 cv	700,00
1	Soprador com motor 1 cv	500,00
1	Bico de atomização 0,7mm	1.000,00
1	Trocador de calor 5 kW	500,00
1	Relé programável	1.000,00
3	Sensores de temperatura PT100	450,00
1	Câmara de secagem	4.000,00
1	Tubos e conexões	500,00
1	Registrador de temperatura	300,00
1	Cabos e chaves elétricas	1.500,00
Custos com materiais		10.450,00

Geralmente os gastos com mão de obra pode atinge 100% dos materiais, os honorários do autor do projeto a ser discutido, visto que estão incluídos 4 anos de pesquisa de engenharia com dois orientadores, quatro bancas para análise da pesquisa com média de cinco profissionais pesquisadores com formação mínima a nível de doutorado e outras despesas com energia, água e mão de obra.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

O secador construído dispõe de ferramentas com facilidade para modificações em suas ferramentas para favorecer os ensaios nas etapas seguintes.

A secagem por micro-ondas é mais adequada por necessidade de respostas com rapidez e praticidade em determinações de umidades dos produtos em processos contínuos de secagem.

Na primeira etapa dos ensaios preliminares da pesquisa e desenvolvimento do secador os bloqueios adotados foram positivos para o correto funcionamento das resistências elétricas e para evitar respingos nos momentos de interrupção da suspensão que ocasionam acúmulo de produto na câmara de secagem; a vazão obtida com um rotor de 160 mm de diâmetro foi insuficiente para que o processo de secagem produzisse resultados consistentes e reproduzíveis.

As modificações na segunda etapa de ensaios geraram aumento da vazão de produto em consequência do aumento da frequência de dosagem, aumento da temperatura do ar de secagem e aumento da vazão do ar de secagem, com resultados reproduzíveis e consistentes.

Nos experimentos que ocorreram na etapa terceira observou-se que há acúmulo de vapor na base da câmara de secagem fato que gera condensação por falta de capacidade de arraste pelo ar de secagem.

O ensaio realizado na quarta etapa com a posição do ciclone modificada, associado à adição de maltodextrina agregou uma eficiência de 60% ao processo. Em função do preço de mercado da maltodextrina propõe-se o desenvolvimento de um processo de produção a partir da hidrólise enzimática da fécula de mandioca.

A metodologia adotada para o controle dos processos de secagem neste trabalho apresenta uma resposta natural às variações de teores de água na suspensão e de teores de água no ar de secagem, e que o operador do equipamento deve preocupar-se com o abastecimento de sangue em suspensão, ajustar vazão para o lote e fazer a coleta de sangue pó durante o processo produtivo.

O sistema proposto apresentou resultados atingindo seu ponto máximo sem aumento da potencia do trocador de calor e inclusão de periféricos à vazão de

alimentação fornecida pela rotação de 2650 rpm no rotor do soprador e à pressão de atomização de $2,5 \text{ kg-f.cm}^{-2}$. A inclusão de uma bomba dosadora de deslocamento positivo com um inversor de frequência traria melhorias nos resultados quanto a reprodutibilidade, mas requer um custo adicional de R\$ 6.000. O aumento da potência do trocador de calor poderá ser feito com um baixo investimento R\$ 100,00.

Poderá também ser estudado o ponto crítico de controle da temperatura de secagem, no interior do secador ou na saída. Para o nível da capacidade de controle da temperatura no interior do secador, será determinado gráfico de controle conforme metodologia adotada por (WERKEMA, 1995).

O sangue bovino em pó se mostrou adequado para o suplemento proteico na alimentação de codornas, apresentando melhores índices de desempenho com inclusão de 8% na dieta.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, I.; FLORES, H. Optimization of spray drying of roselle extract (*Hibiscus sabdariffa* L.). In: **Drying 2004 – Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004)**. São Paulo, 2004. v.A, p.597-604.

AUTIO, K.; KIESVAARA, M. MÄLKKI, Y.; KANKO, S. Chemical and functional properties of blood globin prepared by a new method. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 49, n. 3, p. 859-862, 1984.

AUTIO, K.; LYYTIKÄINEN, H.; MÄLKKI, Y.; KANKO, S. Penetration studies of blood globin gels. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 50, n. 2, p. 615-617, 1985.

BHANDARI, B. R.; DUMOULIN, E. D.; RICHARD, H. M. J.; NOLEAU, I.; LEBERT A. M. Flavor encapsulation by spray drying: application to citral and linalyl acetate. **J. Food Science**, v. 57, n. 1, p. 217-221, 1992.

BIRCHAL, V. S. e PASSOS, M. L., Modeling and simulation of milk emulsion drying in spray dryers. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, Vol. 22, No. 02, pp. 293 - 302, April - June, 2005.

BRASIL. Determinação de matéria seca e umidade em solos e plantas com forno de micro-ondas doméstico. **EMBRAPA Pecuária Sudeste, Circular técnica 33**, São Carlos – SP, 2002, p. 09.

BRASIL. Métodos físico-químicos para análise de alimentos /coordenadores Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea -- São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008 p. 1020 versão eletrônica.

BRASIL. Regulamento técnico de identidade e qualidade de leite em pó, **Ministério da Agricultura**, Portaria nº 146 de 07 de março de 1996.

CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P.C.; RAMOS, A.M.; CAL-VIDAL, J. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v.6, n.4, p.420-428, 2005.

CARVALHO, R. E ORTEGA, E., Programa desenvolvido em linguagem C, visando o dimensionamento de secador spray dryer co-corrente. 1995. Disponível em: <<http://www.fea.unicamp.br/docentes/ortega/info/bibsoftc/bibsoft.htm>>

CHEFTEL, J. C.; CUQ, J. L.; LORIENT, D. **Proteínas Alimentarias**. Espanha: Acribia, 1989. 364 p.

CIDASC, Disponível em:

<http://www.cidasc.sc.gov.br/html/legislacao/arquivos%20pdf/regulamento%203748.p>

CLEMENT, K. H. HALLSTRÖN, A., DICH, H. C., LE, C. M., MORTENSEN, J., THOMSEN, H. A. On the dynamic behavior of spray dryers. **Transactions of the Inst. Of Chemical Engineers**, v.69, p.245-251, 1991.

COLSON, & RICHARDSON, , **Tecnologia química**, Fundação Coalouste Gulbenkian / Lisboa, v. 3, p. 746, 1982

CORDEIRO, D.S. e OLIVEIRA, W.P. Technical aspects of the production of dried extract of *Maytenus ilicifolia* leaves by jet spouted bed drying. **International Journal of Pharmaceutics**, vol.299, p.115-126, 2005

COZZOLINO, S. M. E., NOGUEIRA, N. N., COLLI, C. Controle de anemia ferropriva em pre-escolares por meio da fortificação de alimento concentrado de hemoglobina bovina. **Caderno de Saúde Pública**, v.8, p. 459-465, 1992.

DAIUTO, E.R, CEREDA, M.P. Amido como suporte na desidratação por atomização e em microencapsulamento. In: Cereda MP, Vilpoux OF. (Coord). Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas sul americanas. São Paulo: Fundação Cargill; 2003. p.449-75.

DIVAKARAN, S., SCARIA, K. J. And SANTAPPA, M. Animal Blood National Information.**Center for Leather**, series 2, Madras, India, 1982.

DIVAKARAN, S., SCARIA, K. J., SANTAPPA, M. Blood meal – is processing and DOMINGUES, A. et al. Caracterização das propriedades físicas do suco de abacaxi (*Ananás comusus*) em pó desidratado por spray dryer otimizado através de análise de suporte de superfície de resposta. In CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS. Porto Alegre. 2002. **Anais**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos. p. 1717-1720, 2002.

DORLY, Y. P. Aproveitamento do sangue de abate para a alimentacao humana. **Revista Higiene Alimentar**, vol. 3, nº 1, p. 65-67, 1984.

DUARTE, R. M. T.; SGARBIERI, V. C. Propriedades Funcionais Tecnológicas das Frações Protéicas de Sangue Bovino: Plasma e Globina. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, 2000.

DZIEZAK, J. D. Microencapsulation and encapsulated ingredients. **Food Tecnology**, v. 42, n.4, p. 136-151, 1988.

HELDMAN D. R.e SINGH, R.P. “Food Process Engineering” The AVI Publishing Company, Inc.,Connecticut, 1981.

LOPES, T. J.; CANZI, C.; MACHADO, M. I. R.; FARIA, G. U. DE; PINTO, L. A. DE A.; FURLONG, E. B., Utilização de plasma bovino na formulação de pó para sorvete. **Brazilian J. Food Tecnology**, v. 11, n. 3, p. 175 – 181, jul. /set. 2008.

LUCA, G. C.; DOS REIS, B. F. Espectrofotometria de proteínas totais em plasma de sangue bovino por análise em fluxo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 251-256, 2001.

MARKOWSKI, A., Dryng characteristics in a Jet-spouted bed dryer. Trird Internatinal Symposium on Spoted Beds. Vancouver, B. C. , 1991.

MARQUELE, F.B.; STRACIERE, K.M.; FONSECA, M.J.V.; FREITAS, L.A.P. Spray-dried propolis extract. I: Physicochemical and antioxidant properties. **Die Pharmazie**, 61, PP. 325-330, 2006.

MASSARO, A. F.; PINTO, L. A. A. Enriquecimento proteico de farelo de arroz desengordurado, com sangue bovino, utilizando a técnica de leito de jorro. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 61, n. 2, p. 77-84, 2002.

MASTERS, K. **Spray drying handbook**. 5.ed. New York. Ed Longman Scientific & Technical, p.725, 1991.

MATA, M. E. R. M. C; MEDEIROS, S. S. A; DUARTE, M. E. M. Microencapsulamento do umbu em pó com diferentes formulações de maltodextrina: Estudo do tamanho das partículas por microscopia eletrônica; **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande**, v. 7, n. 1, P. 50-70, 2005.

MOREIRA, G. É. G; COSTA, M. G. M.; SOUSA, A. C. R.; BRITO, E. S.; MEDIROS, M. F. D.; AZEREDO, H. M. C. Physical properties of spray dried acerola pomace extract as affected by temperature and drying aids. **LWT – Food Science and Technology** – Swiss Society of Food Science and Technology, v. 42, p. 641-645, 2000.

MOREIRA, S. A. Processamento da polpa de umbu em leito de jorro – estudo da temperatura de secagem. Campina Grande, 1991, p. 45, relatório interno, UFPB.

NEGRE, F.; JARQUE, J. C.; FELIU, C. & ENRIQUE, J. E. Estudo da operação de secagem por atomização de pós cerâmicos em escala industrial: seu controle e automatização. **Cerâmica Industrial**, v. 5, n. 2, p. 47-52 Março/Abril, 2000.

NUKIYAMA, S., TANASAWA, Y. Experiment on atomization of liquid by means of air stream. **Transactions of the Society of Mechanical Engineers – Japan**, v.4, n.14, p.86-93, 1938.

O'RIORDAN, D.; MORRISSEY, P. A.; MULVIHILL, D. M. Hydration related properties of plasma proteins. **Sciences des Aliments**, Cachan, v. 8, n. 3, p. 315-324, 1988.

OCKERMAN, H. W.; HANSEN, C. L. **Industrialización de Subproductos de Origen Animal**. Espanha: Acribia, 1994. 396 p.

OLIVEIRA FILHO, U. C. DE. Desenvolvimento de um secador spray para obtenção de pós finos de precursores de nióbio. 2007. F. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Rio Grande do Norte. Área de Concentração: Engenharia de Processos – Natal, 2007.

OLIVEIRA, W.P.; BOTT, R.F.; SOUZA, C.R.F. Manufacture of standardized dried extracts from medicinal Brazilian plants. **DRT**, 24(4), pp.523-533, 2006.

PADILHA. Isotermas de adsorção de umidade de suplemento alimentício rico em ferro hemático (sangue bovino em pó). Aceitabilidade de alguns produtos enriquecidos. 2006. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina.

PAGLIARUSSI, R.S.; BASTOS, J.K.; FREITAS, L.A.P. Fluid drying of guaraná (*Paullinia cupana* HBK.) extracts : Effect of process factors on caffeine content. **AAPS Pharm Sci Tech** 7(2), E1-E7, Article 54, 2006.

PARDI, M. C., SANTOS, I. C. SOUZA, E. P., PARDI, H. S. **Ciência Higiene e Tecnologia da Carne**. v. 1 Goiânia: Editora da UFG. 1993.

PARDI, M. C., SANTOS, I. C. SOUZA, E. P., PARDI, H. S. **Ciência Higiene e Tecnologia da Carne**. v. 2 Goiânia: Editora da UFG. 1996.

PERRY, ROBERT H.; CHILTON, CECIL H. Manual de Engenharia Química, 5ª edição, 1997.

PHAM, Q. T., Canadian Journal of Chemical Engineering, p. 426 – 434, 1983.

RÉ, M. I., Secagem de sangue animal em leito de jorro. PPG-EQ/UFSCar, 1986, 73p, (Dissertação de Mestrado).

RENUNCIO, A. Avaliação de método de coleta de sangue em pequenos abatedouros do Estado de Santa Catarina visando sua valorização para consumo humano. 1997. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina.

RISPOA – Regulamento de Inspeção dos Produtos de Origem Animal. Ministerio da Agricultura, Brasil. 1952.

ROSA, E.D., TSUKADA, M. e FREITAS, L. A .P. Secagem por atomização na indústria alimentícia: Fundamentos e aplicações. DEPTO DE ENGENHARIA - LABMAQ DO BRASIL LTDA, 12p. 2003.

SANTOS, A. B.; FERREIRA, V. P.; GROSSO, C. R. F. Microcápsulas – uma alternativa viável. Microencapsulação de produtos sensíveis à oxidação: óleo-resina de páprica. **Biotecnologia, Ciência & Desenvolvimento**, v. 16. P. 26-30, 2000.

SANTOS, J. V.; MOURA, T. F. A. & RAFFIN, F. N. Otimização dos Parâmetros de Secagem por Aspersão de Micropartículas de Quitosana Como Carreadores de Insulina. **Lat. Am. J. Pharm.**, v. 22, n. 4, p. 327-333, 2003.

SHUHAMA, I.K.; AGUIAR, M.L.; OLIVEIRA, W.P. FREITAS, L.A.P. Experimental production of annatto powders in spouted bed dryer. **J. Food Engineering**, 59, pp. 93-97, 2003.

SILVA, D. R. P., BRANDÃO, P. A., DOS SANTOS, V. P. B., VITORINO, P. V. V, BRANDÃO, S. J., MOREIRA, S. A. “Desempenho Produtivo de Codornas Europeias (*Coturnix coturnix*) Submetidas à Inclusão de Farinha de Sangue Bovino na Dieta, na Fase Inicial de Criação” **Anais da 49ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia A produção animal no mundo em transformação Brasília – DF, 23 a 26 de Julho de 2012.**

SILVA, J. A. Tópicos da tecnologia de alimentos. São Paulo: Livraria Varela, 2000. 227p.

SILVA, JOÃO GOMES DA. Monitoração e controle de umidade e temperatura em secadores de massas alimentícias, Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia para obtenção do título de mestre em engenharia de processos químicos e bioquímicos, São Caetano do Sul, SP, 2009, 67p.

SILVA, OSVALDO SOARES DA, Desenvolvimento do processo de recobrimento e secagem de microgrânulos em leito fluidizado, FEQ/UNICAMP Campinas, SP: 150 p, 2003.

SIMÕES, M. C. C.; MOURA, E. C.; SGARBIERI, V. C.; FIGUEIREDO, D. B. Avaliação do impacto de um suplemento nutricional rico em ferro hematínico. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 4, p. 871-881, 1999.

SOUZA, C. R. F. de. Estudo comparativo da produção de extrato seco de *Baunia forficata* pelos processos *spray-dryer* e leito de jorro. Ribeirão Preto, 2003. 180 p. (Dissertação de mestrado) Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto/USP.

SOUZA, C.R.F. OLIVEIRA, W.P. Powder properties and system behavior during spray drying of *B. forficata* Link. DRT 24, pp. 735-749, 2006.

SOUZA, C.R.F., DONIDA, M.W., ROCHA, S.C.S., OLIVEIRA, W.P. The role coloidal silicon dioxide in the enhancement of the drying of herbal preparation in suspended state. **Chem. Eng. Communications**, 196, pp. 391 – 405. 2009.

SPRAY PROCESS. 2009.disponível em: <http://www.sprayprocess.com.br/secagem-por-atomizacao.asp>, acesso em 05/11/2011.

STAIRMAND, C.J. The design and performance of cyclone separators. **Industrial & Engineering Chemistry**, **29** (1951), pp. 356–383.

utilization. **Leather Science** . v. 25., p. 127-134, 1978.

VARNAN, A; SUTHERLAND, J.P. . Leche y Productos Lácteos Zaragoza: Acríbia, 1995. 476p

WERKEMA, M. C. C. Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos – Belo Horizonte, MG: Fundação Cristiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, p. 404, 1995.