



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ESTUDO TEÓRICO DO PERFIL DE TEMPERATURA DURANTE A
SECAGEM DE BLOCOS CERÂMICOS DA OLARIA ALIANÇA**

ELVIS DIAS FERREIRA

POMBAL – PB

2022

ELVIS DIAS FERREIRA

ESTUDO TEÓRICO DO PERFIL DE TEMPERATURA DURANTE A
SECAGEM DE BLOCOS CERÂMICOS DA OLARIA ALIANÇA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Unidade Acadêmica de
Ciências e Tecnologia Ambiental da
Universidade Federal de Campina Grande,
como parte dos requisitos necessários
para obtenção do título de Engenheiro
Civil.

Orientador(a): Prof.^a Ma. Georgiana Maria
Vasconcelos Martins

POMBAL – PB

2022

F383e Ferreira, Elvis Dias.

Estudo teórico do perfil de temperatura durante a secagem de blocos cerâmicos da olaria Aliança / Elvis Dias Ferreira. – Pombal, 2022.

60 f. il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2022.

“Orientação: Profa. Ma. Georgiana Maria Vasconcelos Martins.”.
Referências.

1. Tijolo cerâmico - Fabricação. 2. Secagem de tijolos. 3. Indústria cerâmica. 4. Cerâmica estrutural. 5. Cerâmica vermelha. I. Martins, Georgiana Maria Vasconcelos. II. Título.

CDU 666.712(043)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO.

ELVIS DIAS FERREIRA

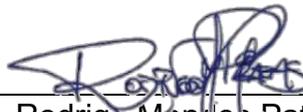
Estudo teórico do perfil de temperatura durante a secagem de blocos cerâmicos da olaria Aliança

Trabalho de Conclusão de Curso do discente ELVIS DIAS FERREIRA **APROVADO** em 19 de agosto de 2022 pela comissão examinadora composta pelos membros abaixo relacionados como requisito para obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL pela Universidade Federal de Campina Grande.

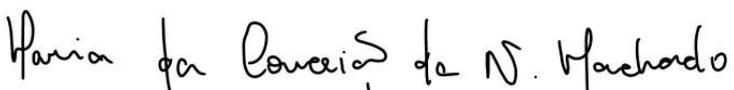
Registre-se e publique-se.

Signed with Smallpdf 
Georgiana Maria Vasconcelos Martins 

Prof^ª. Ma. Georgiana Maria Vasconcelos Martins
(Orientadora – UFCG/UATA)



Prof. Me. Rodrigo Mendes Patrício Chagas
(Membro Interno – UFCG/UACTA)



Prof^ª. Ma. Maria da Conceição da Nóbrega Machado
(Membro Externo – UEPB)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe Damiana Dias Ferreira e ao Pai Erivá Alves Ferreira pelo apoio e incentivo que me foi dado durante toda a minha vida. Pelo amor e carinho que sempre me concederam.

Ao meu avô Epitácio (*in memoriam*) que tenho como exemplo de vida e à minha avó Terezinha que sempre me apoiou e me incentivou nos meus estudos.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me dar forças diariamente na busca de novos desafios e conhecimento.

À minha mãe Damiana, que sempre me ensinou o caminho certo diante das dificuldades.

Ao meu pai Erivá, que sempre me apoiou e me incentivou para a conclusão do meu curso.

Ao meu avô Epitácio (*in memoriam*) e à minha avó Terezinha, que sempre me incentivaram nos meus estudos.

À minha professora orientadora Georgiana, que me orientou na concepção deste presente trabalho, e nos mecanismos que o compõe.

Ao Michel e à Ana Tereza que nos receberam tão bem na olaria Aliança, mostrando cada detalhe da empresa com muita atenção.

À Universidade Federal de Campina Grande, pela oportunidade que me foi dada para o conhecimento do mundo acadêmico.

“No que diz respeito ao empenho, ao compromisso, ao esforço, à dedicação, não existe meio termo. Ou você faz uma coisa bem feita ou não faz”

Ayrton Senna

RESUMO

A utilização de peças cerâmicas na construção civil tem uma grande importância, pois esse segmento da indústria deve oferecer produtos que atendam uma série de critérios para, assim, chegar ao consumidor final. Com o tijolo não é diferente, tal material, constituído de argila, deve passar por processos que o moldem a fim de ter um produto satisfatório para a construção civil e afins. Um desses procedimentos é a secagem do tijolo, processo este que tem como objetivo retirar a umidade do tijolo gradativamente, de modo que quando o tijolo for submetido à queima não sofra uma súbita perda de umidade, resultando em fissuras. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo analisar o perfil de temperatura de um tijolo quando submetido a certas temperaturas durante o processo de secagem da olaria Aliança, utilizando-se das equações de transferência de calor em conjunto com o *software* Wolfram Mathematica® para a simulação matemática. Obteve-se, então, os gráficos que simulam os perfis de temperatura em regime transiente para as condições de contorno de primeira e de segunda espécie. Observou-se, assim, a influência que o fluxo de calor e dos tempos de secagem são distintos para cada tipo de situação, de modo que a equação de segunda espécie mostrou com mais fidelidade o comportamento térmico que o bloco cerâmico apresenta ao longo do tempo de secagem. Evidenciando também, que as baixas temperaturas e o longo tempo de secagem são fatores determinantes para a qualidade final do produto.

Palavras-chave: Secagem. Tijolo. Simulação.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma do processo produtivo do Tijolo.....	19
Figura 2 – Esquema representativo do processo de secagem de um material.	22
Figura 3 – Armazenamento do primeiro tipo de argila.....	25
Figura 4 – Armazenamento do segundo tipo de argila.....	25
Figura 5 – Armazenamento da mistura da argila.....	26
Figura 6 – Tijolos que apresentaram defeitos de volta ao processo inicial.....	26
Figura 7 – Local de armazenamento da mistura da argila	27
Figura 8 – Argila que sai do caixão alimentador.....	28
Figura 9 – Deposição da argila no laminador.....	28
Figura 10 – Argila que sai do laminador	29
Figura 11 – Extrusora	29
Figura 12 – Máquina de corte dos blocos cerâmicos	30
Figura 13 – Secagem natural na área sombreada	31
Figura 14 – Secagem natural na área exposta ao sol	31
Figura 15 – Local de realização da queima dos blocos.....	32
Figura 16 – Local onde ocorre a queima da lenha	32
Figura 19 - Perfil de temperatura de primeira espécie para a região com sol	47
Figura 20 - Perfil de temperatura de primeira espécie para a região sombreada	47
Figura 17 - Perfil de temperatura de segunda espécie para a região com sol.....	47
Figura 18 - Perfil de temperatura de segunda espécie para a região com sombra ...	48

LISTA DE SIGLAS

Siglas

- ANICER – Associação Nacional da Indústria Cerâmica;
- ABC – Associação Brasileira de Cerâmica;
- PIB – Produto Interno Bruto;
- SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas;
- AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	12
1.1.	Justificativa	13
1.2.	Objetivos.....	14
1.2.1.	<i>Objetivo geral</i>	14
1.2.2.	<i>Objetivos específicos</i>	14
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1.	Cerâmica.....	15
2.1.1.	<i>Materiais cerâmicos</i>	15
2.1.2.	<i>Propriedades dos materiais cerâmicos</i>	16
2.1.3.	<i>A indústria ceramista</i>	17
2.2.	Processo de produção do tijolo cerâmico.....	18
2.2.1.	<i>Secagem</i>	21
3.	METODOLOGIA.....	24
3.1.	Processo produtivo da olaria Aliança	24
3.2.	Tratamento matemático.....	33
3.2.1.	<i>Condição de contorno de primeira espécie</i>	33
3.2.2.	<i>Condição de contorno de segunda espécie</i>	38
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
5.	CONCLUSÕES.....	49
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
	APÊNDICE.....	54

1. INTRODUÇÃO

A indústria cerâmica no Brasil é um segmento que abrange muitos processos, desde a extração da matéria prima, da concepção e da estocagem são etapas que devem ser realizadas de modo satisfatório, de modo a ter o mínimo de prejuízo possível. No processo de fabricação do tijolo não é diferente, desde a extração da argila, moldagem, secagem e por último a queima, são etapas cruciais que vão deixar o tijolo com características estruturais boas suficientes para a utilização. O presente trabalho tem como objetivo estudar a etapa de secagem do tijolo, a qual é um processo termodinâmico onde o tijolo é submetido a certas temperaturas para que a umidade presente nele seja retirada de maneira uniforme, se essa etapa não for bem controlada o tijolo, quando submetido ao processo de queima, terá a umidade que está presente na sua superfície removida mais rapidamente que a umidade que está no seu interior, resultando, assim, em fissuras, tornando o tijolo impróprio para a utilização.

Segundo Ricardo *et al.* (2020), o setor da indústria de materiais argilosos é formado por um elevado número de empresas e indústrias, as quais cada um apresentam um nível tecnológico diferente distribuídas ao longo do país. Vale também ressaltar a grande presença de pequenas e médias empresas. Em relação ao nível tecnológico, algumas empresas apresentam um alto grau de desenvolvimento tecnológico em comparação a outras, que apresentam uma tecnologia de produção um tanto primitivo. Por essa razão o presente trabalho objetiva realizar a descrição mais detalhada dos processos produtivos do tijolo, com o foco no processo de secagem do mesmo.

De acordo com Hasatani (1996) e Itaya (1996) o processo de remoção da umidade do tijolo no processo de secagem é de suma importância, pois caso a câmara de secagem não esteja em condições ideais, o tijolo quando submetido a queima irá sofrer uma rápida perda de umidade. A secagem do tijolo deve-se moldar de acordo com uma série de fatores, como a umidade relativa do ar, temperatura, ventilação etc. Tais parâmetros têm como objetivo informar o tempo que o tijolo irá permanecer na câmara de secagem, podendo chegar até 90 dias para os dias úmidos e frios.

Assim sendo, percebe-se a importância de ter conhecimento a respeito das propriedades termodinâmicas do tijolo, pois com um maior controle tecnológico dos processos que são usados para a sua fabricação, uma maior otimização da linha de produção é obtida. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo estudar, por meio de simulações matemáticas, os perfis de temperatura mediante aos tempos de

secagem do tijolo quando o mesmo é submetido à secagem. Objetivando um modelo matemático que descreva com fidelidade o comportamento termofísico que o tijolo apresenta.

1.1. Justificativa

O processo de fabricação dos blocos cerâmicos apresenta inúmeras variáveis, as quais podem interferir na qualidade final do produto, tornando-o impróprio para utilização no mercado. Para a fabricação do tijolo não é diferente, tal material passa por vários processos os quais o moldam e o transformam em um produto resistente que atenda a demanda do mercado, apresentando qualidade e durabilidade satisfatórios.

Um desses processos é a secagem, processo este que objetiva retirar a umidade presente no bloco de forma gradativa, para que quando o mesmo for submetido ao processo de queima não apresente falhas na sua estrutura, como trincas e fissuras.

De acordo com Lima (2020), a cerâmica de construção brasileira integra um lugar de destaque na economia do país. A disponibilidade de matérias-primas naturais, fontes alternativas de energia e tecnologias práticas incorporadas em equipamentos industriais tornam as indústrias brasileiras muito competitivas no mercado. Durante um longo período de produção de materiais cerâmicos não ocorreram mudanças tecnológicas importantes. Somente nas últimas décadas é que a tecnologia de fabricação de materiais cerâmicos passou por um processo de desenvolvimento associado a inovações.

Dessa forma fica evidente a necessidade de ter um conhecimento mais detalhado acerca das propriedades termofísicas dos tijolos, uma vez quando conhecido o seu comportamento no processo de secagem e aplicando uma otimização na sua produção, mais produtividade será obtida como também produtos com uma maior qualidade.

O setor da cerâmica no Brasil representa um dos maiores conglomerados industriais do gênero no mundo, tendo uma grande importância econômica para o Brasil, com uma participação no PIB brasileiro de quase 1%, além de representar características de capilaridade no cenário da economia nacional que o distingue dos outros setores, envolvendo micros, pequenas e médias empresas em todo o território nacional (LIMA *et al*, 2020).

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

Conhecer os processos que são utilizados na fabricação do tijolo da olaria Aliança, com foco no processo de secagem do mesmo, como também ter conhecimento dos mecanismos termofísicos que ocorrem no material em tal processo produtivo.

1.2.2. Objetivos específicos

- Conhecer os processos produtivos envolvidos na fabricação dos tijolos na olaria Aliança, localizada no estado da Paraíba;
- Obter dados da olaria, para complemento do perfil de temperatura;
- Obter o modelo matemático para expressar a distribuição de temperatura unidimensional em regime transiente com condição de contorno de 1° e 2° espécie;
- Comparar a distribuição de temperatura para diferentes tempos de secagem, observando a variação de temperatura no interior do bloco.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Cerâmica

2.1.1. Materiais cerâmicos

Segundo a Associação Brasileira de Cerâmica (ABC), a cerâmica ou material cerâmico pode ser definido como os materiais inorgânicos ou não metálicos, neste caso, são os materiais de construção de engenharia, ou produtos químicos inorgânicos, com exceção dos metais e suas ligas.

Existem indícios de atividade cerâmica em quase todos os povos da antiguidade. Os gregos, por muitos séculos, produziram as melhores peças de cerâmica do mundo Mediterrâneo. Na Grécia, em Roma e em outras regiões, a produção de cerâmica era vendida nas feiras, e havia uma exportação contínua de ânforas fenícias para todo o Mediterrâneo, em virtude da sua forma artística e da sua utilidade para servir água, vinho e azeite (BERLINGHIERI, 2003).

Os processos de fabricação empregados pelos diversos segmentos cerâmicos apresentam uma semelhança parcial ou totalmente nos processos produtivos de tais matérias. Desse modo, as características finais dos produtos cerâmicos são influenciadas diretamente pela escolha da matéria prima e dos processos que são usados para a sua moldagem.

2.1.2. Propriedades dos materiais cerâmicos

De acordo com Albuquerque (2000), Silva (2009) e Brito (2016), os materiais cerâmicos possuem as seguintes propriedades:

a-) Propriedades termo físicas

- Massa específica aparente (γ): 1,9 a 2,1 t/m³;
- Umidade higroscópica de equilíbrio (ψ):

- entre 0,5 a 1,0%;
- Absorção de água (AA): na cerâmica vermelha os valores chegam da ordem de 20 a 25%;
- Coeficiente de dilatação linear (α): bastante variável, podendo-se assumir o valor aproximado de $0,6 \times 10^{-5}$ mm/mm°C para tijolo;
- Calor específico (c): Aproximadamente 878,22 J/kg°C;
- Coeficiente de condutibilidade térmica (λ): Em torno de 0,8364 W/m°C.

b-) Propriedades mecânicas e elásticas

- Resistência a compressão: 2 MPa tijolos de barro cozidos;
- Resistência à tração na flexão: da ordem de 15 a 20% da resistência à tração;
- Módulo de deformabilidade longitudinal: Na faixa de 6000 à 60000 MPa, devido os materiais cerâmicos serem essencialmente frágeis;
- Coeficiente de Poisson: $\nu = 0,20$ a $0,30$;
- Dureza superficial: particularmente importante à dureza nos pisos cerâmicos em geral é muito elevada, chegando 6 ou 7 na escala de Mohs (feldspato e quartzo).

c-) Características químicas

Os materiais cerâmicos de forma geral apresentam um desempenho bem adequado frente à ação de agentes químicos, ao contrário, por exemplo, de metais, plásticos e concretos, os quais são sujeitos aos inúmeros mecanismos de degradação. Tal propriedade dos materiais cerâmicos é consequência da elasticidade

química da cerâmica, ou seja, não há facilidade de reação entre seus componentes e outros elementos químicos, possibilitando, assim uma vasta área de aplicação no mercado.

2.1.3. A indústria ceramista

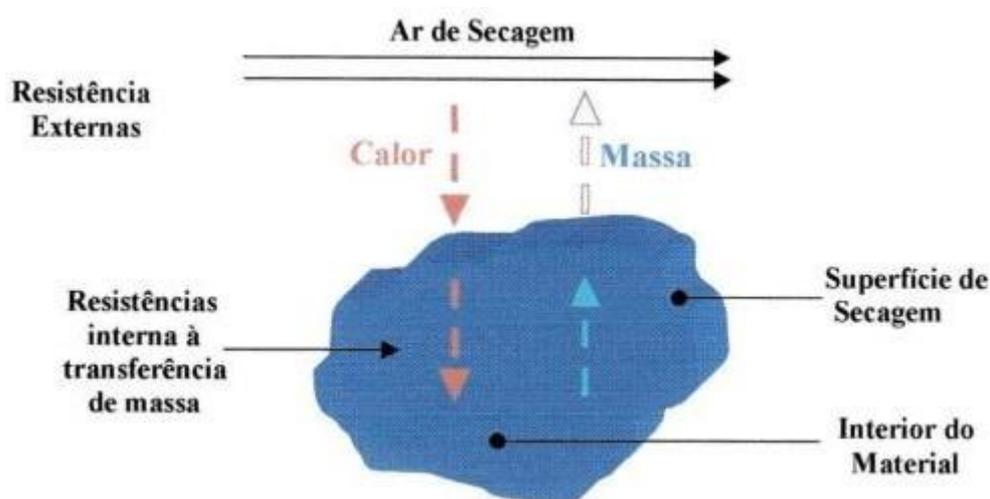
No Brasil, a cerâmica é de relevante importância para a economia do país, a abundância de matéria-prima natural, fontes alternativas de energia e disponibilidade de tecnologias práticas embutidas nos equipamentos industriais fizeram com que as indústrias brasileiras evoluíssem rapidamente (SILVA, 2009). Além do mais a indústria da cerâmica no Brasil representa uma grande importância, isso pode ser observado por sua grande participação no PIB (Produto Interno Bruto), chegando a um valor da ordem de 1%. Desse modo, a cerâmica de revestimento é um dos mais importantes segmentos e apresenta um crescente desempenho tecnológico (ALVES *et al*, 2008).

De acordo com Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico e do Setor de Transformação de Não Metálicos, na região paraibana existem dois polos produtores cerâmicos. O de maior porte localizado na região metropolitana de João Pessoa, em municípios a poucos quilômetros de distância, como os municípios de Santa Rita, Mamanguape e Guarabira, onde nesses municípios há o destaque na fabricação de blocos cerâmicos e lajotas. Já o outro polo se localiza no interior, com empresas de menor porte, produzindo telhas por extrusão, principalmente nos municípios de Santa Luzia, São Mamede, Patos, Congo, Juazeirinho, Junco do Seridó, Souza e Soledade.

2.1.4. Secagem

Na literatura há alguns autores que definem secagem como sendo um processo termodinâmico por meio do qual ocorre a redução do teor de umidade de um determinado material, através da transferência simultânea de calor e massa, a qual é necessária para evaporar a umidade que se encontra na superfície e no interior do material (ALMEIDA, 2003). Por outro lado, segundo Rizvi (1986), define a secagem como sendo um fenômeno de simultânea transferência de calor, massa e quantidade de movimento. Tal processo encontra-se representado na figura 2.

Figura 2 – Esquema representativo do processo de secagem de um material.



Fonte: Almeida (2003)

De forma geral, a secagem é um processo termodinâmico que envolve a simultânea transferência de massa e calor com a inclusão de variações dimensionais. Este fenômeno tem como objetivo reduzir a quantidade de água dos produtos antes da entrada no forno, e deve ser lenta e uniforme, para que a água seja eliminada gradativamente, até que uma pequena percentagem permaneça para manter a coesão da argila e para que a peça não se desagregue antes da queima (WEBER, 2009). Caso a etapa de secagem do material cerâmico não for bem controlado, problemas como trincas e fissuras podem aparecer no tijolo, tornando-o impróprio para a utilização no mercado.

De acordo com Batista *et al.* (2008) e Medeiros (1997), muitos pesquisadores têm estudado o processo de secagem de materiais argilosos. Dessa forma, a secagem de materiais sólidos tem-se o fenômeno do encolhimento, que altera a cinética de secagem e as dimensões do sólido. Este fenômeno acontece simultaneamente com o transporte de umidade e é mais intenso em materiais com

umidade inicial alta, e principalmente em produtos com granulometria fina. Dependendo das condições de secagem, da estrutura do material e da geometria do produto, o fenômeno de encolhimento pode causar rachaduras, deformações e até mesmo fraturas dentro dos sólidos.

3. METODOLOGIA

A metodologia adotada neste presente trabalho visa a coleta de dados na olaria Aliança, de modo a ter os dados necessários para aplicação na equação final. E em sequência realizar a aplicação dos dados encontrados na equação que descreve o perfil de temperatura ao longo de uma dimensão do bloco cerâmico, visando também a representação gráfica do perfil de temperatura desejado. A seguir encontra-se de forma mais detalhada métodos utilizados para a realização do presente estudo.

3.1. Processo produtivo da olaria Aliança

Realizou-se no dia 6 de julho uma visita técnica na olaria Aliança, localizada nas proximidades do município de São Vicente do Seridó, no estado da Paraíba. A olaria apresentava uma produção dos blocos cerâmicos com o fluxograma apresentando diversas etapas do processo produtivos, as quais cada uma era responsável em moldar o tijolo nas condições satisfatórias para o uso.

A primeira etapa do processo consistia no armazenamento da matéria prima, a qual era disposta em montes próximo dos equipamentos das etapas seguintes, vale ressaltar que para a olaria em questão é utilizado de dois tipos de argilas para a concepção dos blocos, como pode-se observar nas figuras 3 e 4, de modo a ter uma mistura de argila com características mineralógicas boa suficiente para ter um bloco com propriedades que satisfação certos critérios de utilização.

Figura 3 – Armazenamento do primeiro tipo de argila



Fonte: Autor (2022)

Figura 4 – Armazenamento do segundo tipo de argila



Fonte: Autor (2022)

Em seguida, as argilas eram misturadas em uma pilha única (figura 5), onde recebia água, segundo nos informaram, para assim, ter a umidade ideal para as etapas seguintes.

Figura 5 – Armazenamento da mistura da argila



Fonte: Autor (2022)

Vale ressaltar que, antes de queima do tijolo, as propriedades física e química do tijolo não são alteradas, portanto, caso existam blocos que apresentem quaisquer tipos de defeitos, os mesmos podem retornar ao processo inicial de produção. Tal método é aplicado na olaria em questão, onde os tijolos que apresentarem quaisquer tipos de falhas, são retomados ao processo inicial, ou seja são depositados na pilha da argila misturada, como pode ser visto na figura 6.

Figura 6 – Tijolos que apresentaram defeitos de volta ao processo inicial



Fonte: Autor (2022)

Em sequência, a mistura de argila é transportada para o armazém (figura 7), de modo a facilitar o transporte para a etapa seguinte.

Figura 7 – Local de armazenamento da mistura da argila



Fonte: Autor (2022).

Em seguida, a argila é transportada para o caixão alimentador, responsável em realizar a quebra dos torrões de argila, para assim, ter uma argila com uma geometria que possa ser possível a sua trabalhabilidade nas operações futuras, a argila assim que sai do desintegrador pode ser vista na figura 8, onde é possível observar que a argila proveniente do caixão alimentador apresenta uma geometria que é possível o seu transporte nas esteiras o seu depósito nos equipamentos seguintes.

Depois que a argila é desintegrada ela é transportada em esteiras para o laminador (figura 9), onde a mesma é responsável em fazer “lâminas” de argilas como pode-se ver na figura 10, tal procedimento visa um melhor adensamento e mistura das argilas constituintes.

Figura 8 – Argila que sai do caixão alimentador



Fonte: Autor (2022)

Figura 9 – Deposição da argila no laminador



Fonte: Autor (2022)

Figura 10 – Argila que sai do laminador



Fonte: Autor (2022)

Depois que a argila passa no laminador ela é transportada para a extrusora, também conhecida popularmente como maromba, (figura 11), para que a matéria prima seja compactada e saia no formato padrão de um tijolo de 8 furos.

Em seguida, logo após o material sair da extrusora, ela é transportada para uma esteira onde apresenta fios os quais são próprios para a realização do corte dos blocos cerâmicos nas dimensões desejadas, como pode-se visualizar na figura 12.

Figura 11 – Extrusora



Fonte: Autor (2022)

Figura 12 – Máquina de corte dos blocos cerâmicos



Fonte: Autor (2022)

Logo após o corte, os blocos estão prontos para serem submetidos à secagem. Na olaria em questão, a secagem era feita de modo natural, ou seja, a peça era exposta às condições ambientes para que a umidade fosse retirada do bloco.

A secagem ocorria em dois locais diferentes, um era em um ambiente na sombra (figura 13), onde a principal ferramenta de secagem era o vento e a temperatura ambiente. De acordo com os que nos foi informado, os blocos cerâmicos que eram expostos a esse tipo de secagem passavam um tempo de 1 semana para que os mesmos fossem submetidos à queima. Pois a água presente no seu interior saía de maneira mais lenta, o que de certa forma ajuda para que a peça não apresente problemas e tenha uma peça de maior qualidade.

O outro local que ocorria a secagem dos blocos era em um lugar mais aberto, como pode ver na figura 14, em que o calor do sol era o principal responsável em realizar a secagem. Tal método tinha a sua vantagem, um menor tempo de secagem era necessário, de acordo com o que nos foi informado, 48 horas era o tempo que um bloco passava nesse tipo de secagem para que o mesmo fosse submetido à queima.

Entretanto, tal método está mais propício as condições climáticas, ou seja, caso haja uma chuva repentina, os blocos acabam absorvendo muita umidade, o que ocasiona em danos na sua estrutura interna, tornando-o impróprio para a utilização.

Figura 13 – Secagem natural na área sombreada



Fonte: Autor (2022)

Figura 14 – Secagem natural na área exposta ao sol



Fonte: Autor (2022)

Após o tempo de secagem, os blocos são submetidos à queima, etapa crucial para a qualidade final do produto. Na olaria em questão a queima dos tijolos é realizada em um lugar fechado nas laterais, aberto em cima e com pequenas aberturas na parte inferior por onde o calor e o fogo vão passar. Dessa forma, como pode-se observar na figura 15, os blocos eram empilhados dentro desse espaço, de

modo a ter o máximo de blocos possíveis para a realização da queima. Em seguida, era realizada a queima de lenha como fonte de calor para o processo de queima, como pode-se visualizar na figura 16.

Figura 15 – Local de realização da queima dos blocos



Fonte: Autor (2022)

Figura 16 – Local onde ocorre a queima da lenha



Fonte: Autor (2022)

E por fim, após a queima, o tijolo era transportado para o armazenamento, onde será enviado para o cliente. Dessa forma, como pode-se observar, o processo produtivo da olaria Aliança apresenta uma linha de produção padrão, com alguns aspectos singulares os quais dão características únicas para o tijolo. Assim sendo, a seguir encontra-se o tópico o qual explica o tratamento matemático para chegar a uma equação final que possibilite a simulação do perfil de temperatura dos blocos cerâmicos durante o processo de secagem.

3.2. Tratamento matemático

Objetivando simular a variação de temperatura no interior do tijolo, buscou-se uma solução numérica que fosse possível obter uma equação que descreva tal objetivo. Dessa forma, de acordo com Incropera *et al* (2003), a equação diferencial parcial em coordenadas cartesianas que descreve o fenômeno difusivo no interior do tijolo, é dada pela equação do calor, onde o calor flui de uma região de alta temperatura para um de menor temperatura.

Dessa forma a equação (3.1) representa condução de calor numa barra infinita limitada pelos pontos $x = 0$ e $x = L$ no espaço.

$$\frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (3.1)$$

3.2.1. Condição de contorno de primeira espécie

Dessa forma, o presente trabalho pretende obter uma solução analítica unidimensional do problema que apresente a distribuição de calor em qualquer ponto do tijolo, é necessário então resolver a equação do calor (3.1), seguindo as condições de contorno de primeira espécie, da seguinte forma:

$$x = 0 \rightarrow T^* = 0, \text{ para } t > 0 \quad (3.2)$$

$$x = L \rightarrow T^* = 0, \text{ para } t > 0 \quad (3.3)$$

$$t = 0 \rightarrow T^* = 1 \quad (3.4)$$

Admitindo a equação (3.1) a qual representa a condução de calor em uma barra infinita limitada pelos pontos x e L , e considerando a temperatura adimensional na forma:

$$T^*(x, t) = \frac{T(x, t) - T_0}{T_1 - T_0} \quad (3.5)$$

Logo tem-se:

$$\frac{1}{\alpha} \frac{\partial T^*(x, t)}{\partial t} = \frac{\partial^2 T^*(x, t)}{\partial x^2} \quad (3.6)$$

Como $T^* = T^*(x, t)$, pode-se admitir separações de variáveis, ficando da seguinte forma:

$$T^*(x, t) = T_1^*(x) * T_2^*(t) \quad (3.7)$$

Logo, substituindo na equação (3.6):

$$\frac{1}{\alpha} \frac{\partial (T_1^*(x) * T_2^*(t))}{\partial t} = \frac{\partial^2 (T_1^*(x) * T_2^*(t))}{\partial x^2} \quad (3.8)$$

Simplificando a equação (3.8):

$$\frac{1}{T_1^*(x)} \frac{\partial^2 T_1^*(x)}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{1}{T_2^*(t)} \frac{\partial T_2^*(t)}{\partial t} \quad (3.9)$$

Como:

$$T_1^* = T_1^*(x) \quad e \quad T_2^* = T_2^*(t) \quad (3.10)$$

Vale ressaltar que assim como aconteceu com a situação de segunda espécie a igualdade (3.9) só será verdadeira se for igual a uma constante, para implicações numéricas igualamos à uma constante real que chamaremos de $-\beta^2$. Ficando da seguinte forma:

$$\frac{1}{T_1^*(x)} \frac{\partial^2 T_1^*(x)}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha T_2^*(t)} \frac{\partial T_2^*(t)}{\partial t} = -\beta^2 \quad (3.11)$$

Resolvendo a parte temporal da equação (3.11), tem-se:

$$\frac{\partial T_2^*(t)}{\partial t} = -\alpha\beta^2 T_2^*(t) \rightarrow \frac{\partial T_2^*(t)}{T_2^*(t)} = -\alpha\beta^2 dt \quad (3.12)$$

Integrando ambos os membros da equação (3.12):

$$\ln T_2^* = -\alpha\beta^2 t \rightarrow T_2^* = e^{-\alpha\beta^2 t + c} \quad (3.13)$$

$$T_2^*(t) = C_3 e^{-\alpha\beta^2 t} \quad (3.14)$$

Para a parte espacial da equação (3.11), tem-se:

$$\frac{\partial^2 T_1^*(x)}{\partial x^2} + \beta^2 T_1^*(x) = 0 \quad (3.15)$$

Logo:

$$T_1^*(x) = A_1 \cos \beta x + A_2 \sin \beta x \quad (3.16)$$

Substituindo (3.16) e (3.14) em (3.7), chega-se ao seguinte resultado:

$$T^*(x, t) = (C_1 \text{sen} \beta x + C_2 \text{cos} \beta x) C_3 e^{-\alpha \beta^{\frac{L}{t}}} \quad (3.17)$$

Aplicando a primeira condição de contorno (3.2):

$$C_2 (C_3 e^{-\alpha \beta^{\frac{L}{t}}}) = 0 \quad (3.18)$$

Como o C_3 não pode ser zero, logo:

$$C_2 = 0 \quad (3.19)$$

Portanto:

$$T^*(x, t) = (C_1 \text{sen} \beta x) C_3 e^{-\alpha \beta^{\frac{L}{t}}} \quad (3.20)$$

Em seguida usando-se da condição de contorno (3.3) na equação (3.20), tem-se:

$$(C_1 \text{sen} \beta L) C_3 e^{-\alpha \beta^{\frac{L}{t}}} = 0 \quad (3.21)$$

Como C_1 e C_3 não pode ser zero, logo:

$$\text{sen} \beta L = 0 \rightarrow \beta L = n\pi, \text{ para } n = 1, 2, 3, 4 \dots \quad (3.22)$$

$$\beta = \frac{n\pi}{L}, \text{ para } n = 1, 2, 3, 4 \dots \quad (3.23)$$

Colocando (3.23) em (3.20):

$$T^*(x, t) = C_1 \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi}{L}\right) C_3 e^{-\alpha\left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 t} \quad (3.24)$$

Usando-se de superposição de soluções, e admitindo $B_n = C_1 C_3$, tem-se o seguinte resultado:

$$T^*(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} B_n \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi x}{L}\right) e^{-\alpha\left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 t} \quad (3.25)$$

Usando a condição inicial (3.4) em (3.25), tem-se:

$$1 = \sum_{n=1}^{\infty} B_n \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \quad (3.26)$$

Multiplicando ambos os lados por $\operatorname{sen}\left(\frac{m\pi x}{L}\right)$ e integrando:

$$\int_0^L \operatorname{sen}\left(\frac{m\pi x}{L}\right) dx = \int_0^L \operatorname{sen}\left(\frac{m\pi x}{L}\right) \sum_{n=1}^{\infty} B_n \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi x}{L}\right) dx \quad (3.27)$$

Em função da propriedade da ortogonalidade, o lado direito da equação (3.27) só não é nulo para o caso de $m = n$. Assim:

$$\int_0^L \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi x}{L}\right) dx = B_n \int_0^L \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi x}{L}\right) dx \quad (3.28)$$

Resolvendo a integral do primeiro membro:

$$\int_0^L \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi x}{L}\right) dx = \frac{L}{n\pi} [(-1)^{n+1} + 1] \quad (3.29)$$

Resolvendo a integral do segundo membro:

$$B_n \int_0^L \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi x}{L}\right) dx = B_n \frac{L}{2} \quad (3.30)$$

Logo:

$$\frac{L}{n\pi} [(-1)^{n+1} + 1] = B_n \frac{L}{2} \quad (3.31)$$

$$B_n = \frac{2}{n\pi} [(-1)^{n+1} + 1] \quad (3.32)$$

$$B_n = \frac{4}{n\pi}, \text{ para } n = 1, 3, 5 \dots \quad (3.33)$$

Portanto a equação final com as condições de contorno de primeira espécie para a distribuição de temperatura será dada pela substituição de (3.33) em (3.25), ficando da seguinte forma:

$$T^*(x, t) = \frac{4}{\pi} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{n} \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi x}{L}\right) e^{-\alpha \left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 t} \quad (3.34)$$

3.2.2. Condição de contorno de segunda espécie

Obtida a equação de primeira espécie dada na equação (3.34), agora se faz necessário obter a equação de segunda espécie, a qual corresponde a condição onde há um fluxo térmico fixo na superfície. Para este tipo de situação se faz necessário as seguintes condições de contorno:

$$\begin{aligned} T(0, t) &= T_1 \\ \frac{\partial T}{\partial x}(L, t) &= \emptyset \end{aligned} \quad (3.35)$$

$$T(x, t) = f(x) = T_0 \quad (3.36)$$

Portanto, este problema é tido como uma solução não-homogênea de transferência de calor, devido a existência de temperatura não nula nas condições de contorno e do fluxo de calor, que é a quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa o bloco cerâmico, propiciado pelo ar que se encontra a uma certa temperatura.

Dessa forma, a resolução será em duas etapas: uma solução estacionária adicionada a uma solução homogênea, ou seja, a equação base será da seguinte forma:

$$T(x, t) = T_h(x, t) + T_s(x) \quad (3.37)$$

Como pode-se observar na equação (3.37), o T_s representa a parte da equação estacionária, pois não é em função do tempo, já o T_h é a parte da equação homogênea, em que o tempo influenciará no resultado.

Logo, a resolução do problema estacionário será por meio da integração da equação do calor (3.1), entretanto como esta solução independe do tempo o primeiro membro da equação é igual a zero, podendo fazer da seguinte forma:

$$0 = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (3.38)$$

$$\int 0 = \int \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (3.39)$$

$$C_1 = \frac{\partial T}{\partial x} \quad (3.40)$$

$$\int C_1 = \int \frac{\sigma T}{\partial x} \quad (3.41)$$

$$C_1 x + C_2 = T_s(x) \quad (3.42)$$

Derivando a equação (3.42), devido a existência do fluxo de calor nas condições de contorno da equação (3.35), temos:

$$T'_s(x) = C_1 \quad (3.43)$$

Substituindo as condições de contorno (3.35) em (3.42) e (3.43), chegamos ao seguinte resultado:

$$T_s(0) = C_1(0) + C_2 = T_1 \quad (3.44)$$

$$C_2 = T_1 \quad (3.45)$$

$$T'_s(L) = C_1 = \emptyset \quad (3.46)$$

$$C_1 = \emptyset \quad (3.47)$$

Colocando o (3.45) e (3.47) na (3.42) chegamos na solução estacionária da equação (3.37), ficando da seguinte forma:

$$T_s(x) = \emptyset x + T_1 \quad (3.48)$$

Encontrado a equação do regime estacionário, falta apenas encontrar a solução homogênea, para isso deve-se considerar as seguintes condições de contorno:

$$T(0, t) = 0 \quad (3.49)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x}(L, t) = 0 \quad (3.50)$$

Dessa forma, para a solução do problema homogêneo utilizou-se do método de separação de variáveis, ficando da seguinte forma:

$$T_h(x, t) = X(x) * \theta(t) \quad (3.51)$$

Em seguida, deriva-se a equação (3.51), para assim ser possível utilizar na equação (3.1), encontrando os seguintes resultados:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = X\theta' \quad (3.52)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = X''\theta \quad (3.53)$$

Portanto, substituindo a equação (3.52) e (3.53) na equação (3.1), tem-se:

$$\frac{1}{\alpha} X\theta' = X''\theta \quad (3.54)$$

Por simplificação divide-se ambos os membros da equação (5.54) por $X\theta$, obtendo-se:

$$\frac{1}{\alpha} \frac{\theta'}{\theta} = \frac{X''}{X} \quad (3.55)$$

A igualde presente na equação (3.55) só será verdadeira, se ambos os membros da equação forem iguais a uma constante. Portanto, para facilitar os cálculos futuros igualamos a $-\lambda^2 \in \mathfrak{R}$.

$$\frac{X^{FF}}{X} = -\lambda^2 \quad (3.56)$$

$$X'' + \lambda^2 X = 0 \quad (3.57)$$

A equação característica será da seguinte forma:

$$m^2 + \lambda^2 X = 0 \quad (3.58)$$

$$m = \pm \lambda i \quad (3.59)$$

Como pode-se observar na equação (3.59), as raízes da equação são complexas, portanto, a solução será:

$$X(x) = A \cos \lambda x + B \sin \lambda x \quad (3.60)$$

Derivando a equação (3.60), teremos:

$$X'(x) = -\lambda A \sin \lambda x + \lambda B \cos \lambda x \quad (3.61)$$

Substituindo a condição de contorno (3.49) na (3.60):

$$X(0) = A \cos 0 + B \sin 0 = 0 \quad (3.62)$$

$$A = 0 \quad (3.63)$$

Agora substituindo a equação de contorno (3.50) e o valor de A encontrado (3.63) na equação (3.61), chega-se ao seguinte valor:

$$X'(L) = -\lambda 0 \operatorname{sen} \lambda L + \lambda B \operatorname{cos} \lambda L = 0 \quad (3.64)$$

A igualdade da equação (3.64) será verdadeira, se somente se:

$$\lambda L = \frac{n\pi}{2} \rightarrow \lambda = \frac{n\pi}{2L}, \text{ para } n = 1, 3, 5, 7, \dots \quad (3.65)$$

Sabendo dos valores obtidos em (3.63) e (3.64) e jogando na equação (3.63) chega-se ao seguinte resultado:

$$X(x) = B \operatorname{sen} \left(\frac{n\pi}{2L} x \right), \text{ para } n = 1, 3, 5, 7, \dots \quad (3.66)$$

Agora igualando o outro termo da equação (3.55) a $-\lambda^2$ e resolvendo o problema temporal por equação diferencial ordinária linear homogênea, utilizando-se método de variação de constante de integração, chega-se ao seguinte resultado:

$$\frac{1}{\alpha} \frac{\theta'}{\theta} = -\lambda^2 \rightarrow \theta(t) = C e^{-\alpha \lambda^2 t} \quad (3.67)$$

Colocando o que foi encontrado na equação (3.66) e (3.67) na (3.51), e considerando $B_n = C_n B$, chega-se ao seguinte valor:

$$T_h(x, t) = \sum_{n=0}^{\infty} B_n \operatorname{sen} \left(\frac{n\pi}{2L} x \right) e^{-\alpha \left(\frac{n\pi}{2L} \right)^2 t} \quad (3.68)$$

Colocando a condição inicial (3.36) em (3.68), tem-se:

$$T_h(x, 0) = f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} B_n \operatorname{sen} \left(\frac{n\pi}{2L} x \right) e^{-\alpha \left(\frac{n\pi}{2L} \right)^2 0} \quad (3.69)$$

Como exponencial de 0 é igual a 1, logo:

$$f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} B_n \operatorname{sen} \left(\frac{n\pi}{2L} x \right) \quad (3.70)$$

Multiplicando os dois lados da equação por $\operatorname{sen} \left(\frac{n\pi}{2L} x \right)$, obtém-se o seguinte valor:

$$\int_0^L f(x) \operatorname{sen} \left(\frac{n\pi}{2L} x \right) dx = \int_0^L B_n \operatorname{sen} \left(\frac{n\pi}{2L} x \right) \operatorname{sen} \left(\frac{n\pi}{2L} x \right) dx \quad (3.71)$$

Pelo conhecimento das funções ortogonais sabe-se que $\int_0^L \operatorname{sen} \left(\frac{n\pi}{2L} x \right) \operatorname{sen} \left(\frac{n\pi}{2L} x \right)$ é igual a $\frac{L}{2}$, portanto:

$$B_n = \frac{2}{L} \int_0^L f(x) \operatorname{sen} \left(\frac{n\pi}{2L} x \right) dx \quad (3.72)$$

Para calcular o valor do B_n , deve-se levar em consideração que se trata de um problema não homogêneo, porém como $f(x) = T_0 - T_s(x)$, e considerando T_0 uma constante, tem-se:

$$B_n = \frac{2}{L} \int_0^L [T_0 - (\varnothing x + T_1)] \operatorname{sen} \left(\frac{n\pi}{2L} x \right) dx \quad (3.73)$$

Resolvendo a integral da equação (3.73) e substituindo os valores do intervalo de integração L e 0, chega-se ao seguinte valor:

$$B_n = \frac{4}{(2n-1)\pi} \left[(T_0 - T_1) - \frac{2\varnothing L}{(2n-1)\pi} (-1)^{n+1} \right] \quad (3.74)$$

Logo, com o valor de B_n encontrado em (3.74), e colocando em (3.68), tem-se:

$$T_h(x, t) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{4}{(2n-1)\pi} [(T_0 - T_1) - \frac{2\phi L}{(2n-1)\pi} (-1)^{n+1}] \text{sen} \left(\frac{n\pi}{2L} x \right) e^{-\alpha \left(\frac{n\pi}{2L} \right)^2 t} \quad (3.75)$$

Dessa forma tem-se os valores necessários para chegar à equação que descreve o perfil de temperatura, como encontrou-se os valores de T_h (3.75) e T_s (3.48) deve-se coloca-los na equação (3.37), ficando da seguinte forma:

$$T(x, t) = \phi x + T_1 + \sum_{n=0}^{\infty} \frac{4}{(2n-1)\pi} [(T_0 - T_1) - \frac{2\phi L}{(2n-1)\pi} (-1)^{n+1}] \text{sen} \left(\frac{n\pi}{2L} x \right) e^{-\alpha \left(\frac{n\pi}{2L} \right)^2 t} \quad (3.76)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das equações (3.34) e (3.76) e usando-se do *software* Wolfram Mathematica® foi possível obter as simulações correspondentes para cada tipo de situação.

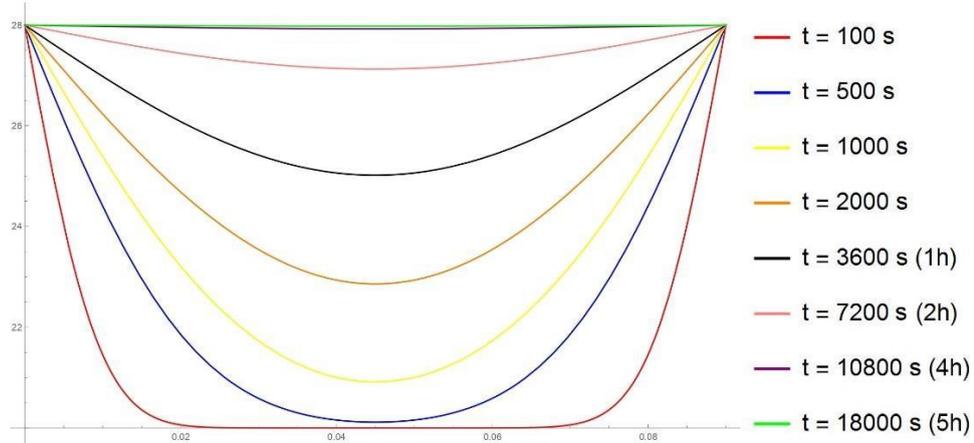
No apêndice encontra-se o algoritmo utilizado para a obtenção dos dados específicos de cada análise, onde no final é possível obter os gráficos relacionados para cada tipo condição de contorno e para cada tempo percorrido.

Dessa forma, para a temperatura utilizada, consultou-se o site AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba), onde no boletim de análise e previsão do tempo sobre a Paraíba referente ao dia 6 de julho (dia que foi realizado a visita técnica), constatou-se uma temperatura máxima de 28°C na região. Entretanto, como a secagem do tijolo é realizada em dois locais distintos, admitiu-se a temperatura máxima (28°C) para os tijolos que eram expostos ao sol, já os que ficavam na região sombreada, admitiu-se uma média temperatura entre a temperatura inicial do tijolo (20°C) e a temperatura máxima, chegando a 24°C. Como a temperatura é uma constante bastante volátil, ou seja, varia muito ao longo do ano e do dia, tais parâmetros considerados são apenas para representar o comportamento térmico que o bloco irá apresentar durante o processo de secagem.

Como parâmetros das variáveis das equações de primeira e segunda espécie, considerou-se os seguintes valores: fluxo de calor ($\phi = 70 \text{ J/s}$), espessura do tijolo ($L = 0,09\text{m}$), de acordo com Galarça (2007) para a difusividade térmica ($\alpha = 0,28 * 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$). Portanto, com todos os parâmetros em mãos foi possível simular o comportamento térmico do tijolo para diferentes tempos de secagem.

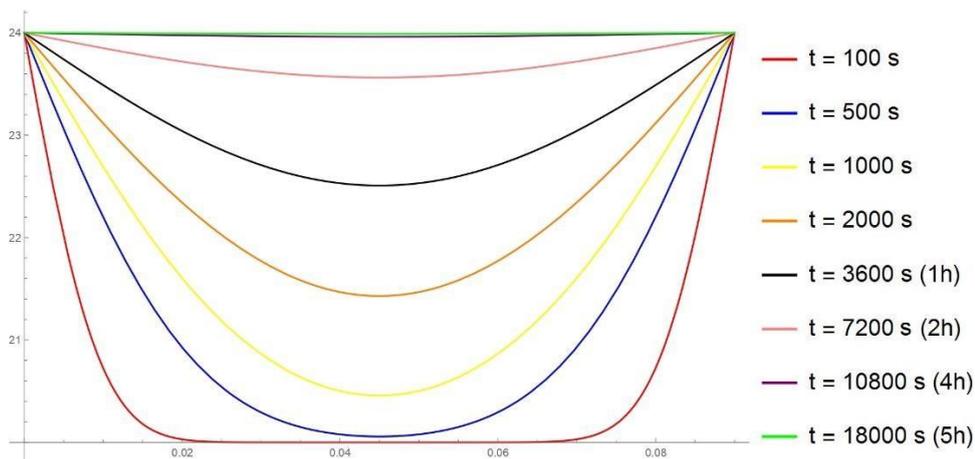
Para a variação de temperatura para a região exposta ao sol levou-se em conta o tempo que o tijolo ficava em exposição de 48 horas, segundo o que nos informaram, já para a região com sombra considerou o tempo máximo de 7 dias. Obtendo-se dos seguintes gráficos:

Figura 17 - Perfil de temperatura de primeira espécie para a região com sol



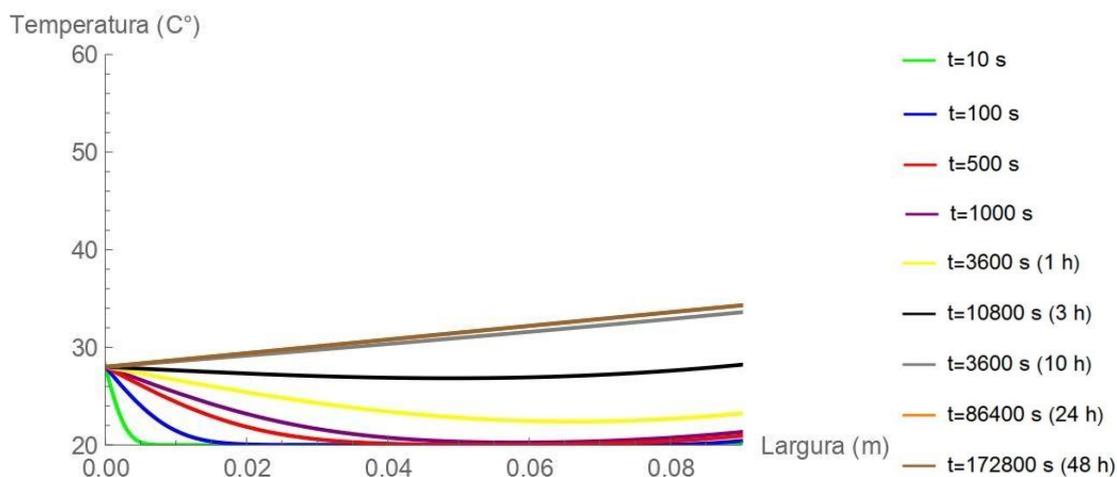
Fonte: Autor (2022)

Figura 18 - Perfil de temperatura de primeira espécie para a região sombreada



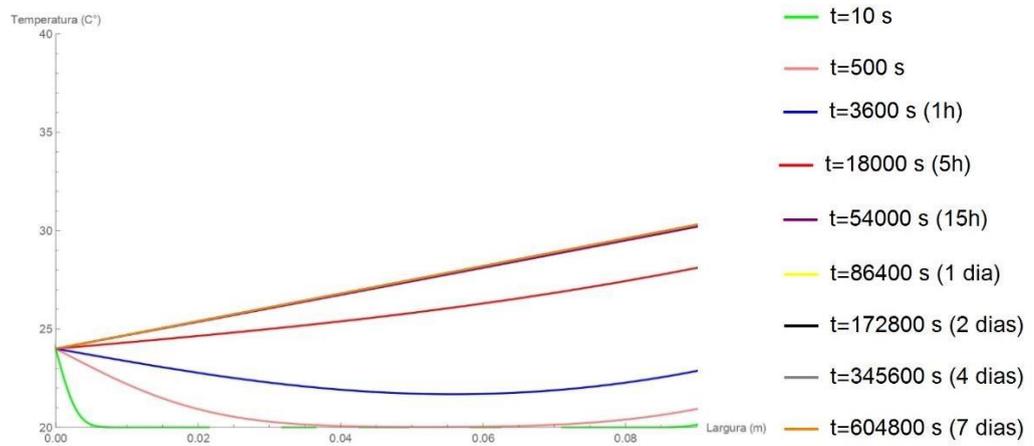
Fonte: Autor (2022)

Figura 19 - Perfil de temperatura de segunda espécie para a região com sol



Fonte: Autor (2022)

Figura 20 - Perfil de temperatura de segunda espécie para a região com sombra



5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que:

- Usando da equação de segunda espécie observou-se uma temperatura maior final em comparação com o de primeira espécie, evidenciando, assim, a influência do baixo valor da condutividade térmica que o tijolo apresenta;
- Para a equação de segunda espécie ambos os gráficos apresentaram o mesmo tempo necessário para chegar na temperatura de equilíbrio;
- Para a condição de contorno de primeira espécie para ambos os gráficos a temperatura máxima atingida não foi superior a temperatura da face do tijolo, mantendo-se constante ao longo do tijolo. Já em relação ao tempo ambos os perfis apresentaram o mesmo tempo para atingir a temperatura de equilíbrio;
- O tempo para se chegar na temperatura de equilíbrio na condição de contorno de primeira espécie foi inferior ao tempo da condição de segunda espécie.
- A temperatura de equilíbrio inferior obtida para a condição de segunda espécie na região com sombra e o longo tempo de secagem são os fatores responsáveis na boa qualidade final do produto cerâmico. Pois a humidade é expulsa de forma mais lenta em comparação com a região com sol;
- A condição de contorno de segunda espécie se mostrou mais fiel com a realidade, pois leva em consideração o fluxo térmico presente na face externa do tijolo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, P. J. R. Materiais cerâmicos. Dissertação de mestrado - FACENS - 2000.

ALMEIDA, G. S. Simulação e experimentação da secagem de cerâmica vermelha em sistemas térmicos industriais. 2009. 211p. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil.

ALMEIDA, G. S. Transferência de calor e massa em sólidos heterogêneos com geometria arbitrária: uma análise concentrada. 2003. p. 52. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Departamento de Engenharia Mecânica, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil.

ALVES, H. J.; MELCHIADES, F. G.; BOSCHI, A. O. Consumo de gás natural na indústria de revestimentos cerâmicos brasileira. Disponível em: <www.scielo.br/pdf/ce/v54n331/a0954331.pdf>. Acesso: 26/06/2022.

ANUÁRIO Estatístico do Setor Metalúrgico e do Setor de Transformação de Não Metálicos. Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/publicacoes-1/anuario-estatistico-do-setor-metalurgico-e-do-setor-de-transformacao-de-nao-metalicos>>. Acesso em: 10 jul. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CERÂMICA. Processo de Fabricação do tijolo. Disponível em: <<http://www.abceram.org.br/>>. Acesso em: 13 jul. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15270-1 - Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

BAUER, L. A. F., Materiais de construção. Rio de Janeiro, LTC. 935p. 1994.

BELLINGIERI, J. C. A indústria cerâmica em São Paulo e a "invenção do filtro de água: um estudo sobre cerâmica Lamparelli" Jabotical (1920-1947). UNESP, Araraquara/SP, 2003.

BOLETIM de análise e previsão do tempo sobre a Paraíba. AESA, Campina Grande, 6 julho 2022. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2022/07/An%C3%A1lise-e-Previs%C3%A3o-do-Tempo-para-06072022-1.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2022.

BOLETIM de inteligência. Sistema de inteligência de Mercado. Sebrae. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/ap/sebraeaz/relatorios-de-inteligencia,7cf4755bc80a4710VgnVCM1000004c00210aRCRD>. Acesso em: 13 jul. 2022.

CALLISTER, W.D. J. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução, 5ª edição, Editora LTC, Rio de Janeiro, RJ, 2002.

GALARÇA, Marcelo M. Solução de um problema unidimensional de condução de calor. Disponível em: <https://docplayer.com.br/50050366-Solucao-de-um-problema-unidimensional-de-conducao-de-calor.html>. Acessado em: 27 jul. 2022.

HANDBOOK. A secagem industrial. CRC Editora LLC. 3ª Ed. v 1, 2006.

INCROPERA, F.P.; DEWITT, D.P.; BERGMAN, T.L., LAVINE, A. S. Fundamentos de Transferência de Calor e Massa, Rio de Janeiro. LTC- Livros Técnicos e Científicos, 6ª edição, 2011.

ITAYA, Y.; TANIGUCHI, S.; HASATANI, M. A numerical study of transient deformation and stress behavior of a clay slab during drying. Drying Technology. v.15, n. 1, p. 1-21. 1997.

LIMA, E. S. Transferência de calor e massa em tijolos cerâmicos industriais via análise concentrada: estimativa de parâmetros do processo de secagem. 2020. 19p. Tese (Mestrado), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil.

MAFRA, A. T. Proposta de Indicadores para a indústria de cerâmica vermelha 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.

MELCHIADES, F. G.; QUINTEIRO, E.; BOSCHI, A. O. A Curva de Gresificação: Parte I, Cerâmica Industrial, Agosto 1996.

NASCIMENTO, J. J. S.; BATISTA, V. R.; LIMA, A. G. B. Secagem e queima de tijolos cerâmicos maciços e vazados incluindo variações dimensionais e danos estruturais. Revista Eletrônica de Materiais e Processos. v. 3, p. 46-61. 2008.

NEVES, G. A. Introdução a ciência dos materiais - Materiais cerâmicos. Curso Especial PRÓDESING-SENAI-CNTCC/SENAI-PB. 1998.

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. serie mercado. Cerâmica vermelha para construção: telhas, tijolos e tubos. Setembro de 2008

SILVA, J. B. Simulação e experimentação da secagem de tijolos cerâmicos vazados. Tese de Doutorado em Engenharia de Processos. Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, PB, Brasil. 2009, 173 p.

TAPIA, R S. E. C; VILLAR S. C; HENRIQUE JR. M. F. Manual para a indústria de cerâmica vermelha. Serie uso eficiente de energia. Rio de Janeiro: SEBRAE, 2000, 90 p.

WEBER, Elisangela. Transferência de calor no processo de secagem de tijolos. X Encontro Gaúcho de Educação Matemática, p. 1-8, junho, 2009.

WITTWER, H.; FARIA, R. W. Projeto de conservação de energia nas pequenas e médias indústrias do Estado do Rio de Janeiro: setor de cerâmica vermelha. Relatório Final. Rio de Janeiro: 1997

APÊNDICE

(*Condição de contorno de primeira espécie*)
(*para a região com Sol*)

L=0.09;
Ti=20;
T0=28;
a=0.28*10⁻⁶;
t=100;
T[x_] :=

$$T0 + Ti - T0 * \frac{4}{\text{Pi}} * \text{Sum} \left(\frac{1}{n} \right) * \text{Sin} \left(\frac{n * \text{Pi} * x}{L} \right) * \text{Exp} \left(-a * \left(\frac{n * \text{Pi} * x}{L} \right)^2 \right) t, \{n, 1, 100, 2\};$$

Plot1= Plot[T[x],{x, 0, .09}, PlotLegends->{"t=100 s"}, PlotStyle-> Red];
[gráfico] [legenda do gráfico] [estilo do gráfico... vermelho]

L=0.09;
Ti=20;
T0=28;
a=0.28*10⁻⁶;
t=500;
T[x_] :=

$$T0 + Ti - T0 * \frac{4}{\text{Pi}} * \text{Sum} \left(\frac{1}{n} \right) * \text{Sin} \left(\frac{n * \text{Pi} * x}{L} \right) * \text{Exp} \left(-a * \left(\frac{n * \text{Pi} * x}{L} \right)^2 \right) t, \{n, 1, 100, 2\};$$

Plot2= Plot[T[x],{x, 0, .09}, PlotLegends->{"t=500 s"}, PlotStyle-> Blue];
[gráfico] [legenda do gráfico] [estilo do gráfico... azul]

L=0.09;
Ti=20;
T0=28;
a=0.28*10⁻⁶;
t=1000;
T[x_] :=

$$T0 + Ti - T0 * \frac{4}{\text{Pi}} * \text{Sum} \left(\frac{1}{n} \right) * \text{Sin} \left(\frac{n * \text{Pi} * x}{L} \right) * \text{Exp} \left(-a * \left(\frac{n * \text{Pi} * x}{L} \right)^2 \right) t, \{n, 1, 100, 2\};$$

Plot3= Plot[T[x],{x, 0, .09}, PlotLegends->{"t=1000 s"}, PlotStyle-> Yellow];
[gráfico] [legenda do gráfico] [estilo do gráfico... amarelo]

L=0.09;
Ti=20;
T0=28;
a=0.28*10⁻⁶;
t=2000;
T[x_] :=

$$T0 + Ti - T0 * \frac{4}{\text{Pi}} * \text{Sum} \left(\frac{1}{n} \right) * \text{Sin} \left(\frac{n * \text{Pi} * x}{L} \right) * \text{Exp} \left(-a * \left(\frac{n * \text{Pi} * x}{L} \right)^2 \right) t, \{n, 1, 100, 2\};$$

Plot4= Plot[T[x],{x, 0, .09}, PlotLegends->{"t=2000 s"}, PlotStyle-> Orange];
[gráfico] [legenda do gráfico] [estilo do gráfico... laranja]

L=0.09;
Ti=20;
T0=28;
a=0.28*10⁻⁶;
t=3600;

T[x_]:=

$$T_0 + (T_i - T_0) * \frac{4}{\pi} * \text{Sum} \left[\frac{1}{n} * \text{Sin} \left[\frac{n * \pi * x^2}{L} \right] * \text{Exp} \left[-a * \left(\frac{n * \pi * x}{L} \right)^2 \right] \right], \{n, 1, 100, 2\} ;$$

Plot5= Plot[T[x],{x, 0, .09}, PlotLegends->{"t=3600 s(1h)"}, PlotStyle->Black];
[gráfico] [legenda do gráfico] [estilo do gráfico] [preto]

L=0.09;

Ti=20;

T0=28;

a=0.28*10⁻⁶;

t=7200;

T[x_]:=

$$T_0 + (T_i - T_0) * \frac{4}{\pi} * \text{Sum} \left[\frac{1}{n} * \text{Sin} \left[\frac{n * \pi * x^2}{L} \right] * \text{Exp} \left[-a * \left(\frac{n * \pi * x}{L} \right)^2 \right] \right], \{n, 1, 100, 2\} ;$$

Plot6= Plot[T[x],{x, 0, .09}, PlotLegends->{"t=7200(2h)"}, PlotStyle->Pink];
[gráfico] [legenda do gráfico] [estilo do gráfico] [rosa]

L=0.09;

Ti=20;

T0=28;

a=0.28*10⁻⁶;

t=14 400;

T[x_]:=

$$T_0 + (T_i - T_0) * \frac{4}{\pi} * \text{Sum} \left[\frac{1}{n} * \text{Sin} \left[\frac{n * \pi * x^2}{L} \right] * \text{Exp} \left[-a * \left(\frac{n * \pi * x}{L} \right)^2 \right] \right], \{n, 1, 100, 2\} ;$$

Plot7= Plot[T[x],{x, 0, .09}, PlotLegends->{"t=10800 s(4h)"}, PlotStyle->Purple];
[gráfico] [legenda do gráfico] [estilo do gráfico] [roxo]

L=0.09;

Ti=20;

T0=28;

a=0.28*10⁻⁶;

t=18 000;

T[x_]:=

$$T_0 + (T_i - T_0) * \frac{4}{\pi} * \text{Sum} \left[\frac{1}{n} * \text{Sin} \left[\frac{n * \pi * x^2}{L} \right] * \text{Exp} \left[-a * \left(\frac{n * \pi * x}{L} \right)^2 \right] \right], \{n, 1, 100, 2\} ;$$

Plot8= Plot[T[x],{x, 0, .09}, PlotLegends->{"t=18000 s(5h)"}, PlotStyle->Green];
[gráfico] [legenda do gráfico] [estilo do gráfico] [verde]

Show[Plot1, Plot2, Plot3, Plot4, Plot5,

[mostra]

Plot6, Plot7, Plot8, PlotRange->{{0, 0.09},{20, 28}}]

[intervalo do gráfico]

(*Condição de contorno de primeira espécie*)

(*para a região com Sombra*)

L=0.09;

Ti=20;

T0=24;

a=0.28*10⁻⁶;

```

t=100;
T[x_]:=
  T0+ Ti-T0 *  $\frac{4}{\text{Pi}}$  * Sum  $\left(\frac{1}{n}\right)$  * Sin  $\frac{n \cdot \text{Pi} \cdot x^2}{L}$  * Exp  $-a * \left(\frac{n \cdot \text{Pi} \cdot x}{L}\right)^2$  t ,{n, 1, 100, 2} ;

Plot1= Plot[T[x],{x, 0, .09}, PlotLegends->{"t=100 s"}, PlotStyle-> Red];
  gráfico | legenda do gráfico | estilo do gráf... | vermelho
L=0.09;
Ti=20;
T0=24;
a=0.28*10-6;
t=500;
T[x_]:=
  T0+ Ti-T0 *  $\frac{4}{\text{Pi}}$  * Sum  $\left(\frac{1}{n}\right)$  * Sin  $\frac{n \cdot \text{Pi} \cdot x^2}{L}$  * Exp  $-a * \left(\frac{n \cdot \text{Pi} \cdot x}{L}\right)^2$  t ,{n, 1, 100, 2} ;

Plot2= Plot[T[x],{x, 0, .09}, PlotLegends->{"t=500 s"}, PlotStyle-> Blue];
  gráfico | legenda do gráfico | estilo do gráf... | azul
L=0.09;
Ti=20;
T0=24;
a=0.28*10-6;
t=1000;
T[x_]:=
  T0+ Ti-T0 *  $\frac{4}{\text{Pi}}$  * Sum  $\left(\frac{1}{n}\right)$  * Sin  $\frac{n \cdot \text{Pi} \cdot x^2}{L}$  * Exp  $-a * \left(\frac{n \cdot \text{Pi} \cdot x}{L}\right)^2$  t ,{n, 1, 100, 2} ;

Plot3= Plot[T[x],{x, 0, .09}, PlotLegends->{"t=1000 s"}, PlotStyle-> Yellow];
  gráfico | legenda do gráfico | estilo do gráf... | amarelo
L=0.09;
Ti=20;
T0=24;
a=0.28*10-6;
t=2000;
T[x_]:=
  T0+ Ti-T0 *  $\frac{4}{\text{Pi}}$  * Sum  $\left(\frac{1}{n}\right)$  * Sin  $\frac{n \cdot \text{Pi} \cdot x^2}{L}$  * Exp  $-a * \left(\frac{n \cdot \text{Pi} \cdot x}{L}\right)^2$  t ,{n, 1, 100, 2} ;

Plot4= Plot[T[x],{x, 0, .09}, PlotLegends->{"t=2000 s"}, PlotStyle-> Orange];
  gráfico | legenda do gráfico | estilo do gráf... | laranja
L=0.09;
Ti=20;
T0=24;
a=0.28*10-6;
t=3600;
T[x_]:=
  T0+ Ti-T0 *  $\frac{4}{\text{Pi}}$  * Sum  $\left(\frac{1}{n}\right)$  * Sin  $\frac{n \cdot \text{Pi} \cdot x^2}{L}$  * Exp  $-a * \left(\frac{n \cdot \text{Pi} \cdot x}{L}\right)^2$  t ,{n, 1, 100, 2} ;

Plot5= Plot[T[x],{x, 0, .09}, PlotLegends->{"t=3600 s(1h)"}, PlotStyle-> Black];
  gráfico | legenda do gráfico | estilo do gráf... | preto
L=0.09;

```

```

Ti=20;
T0=24;
a=0.28*10-6;
t=7200;
T[x_]:=
  T0+ (Ti-T0) *  $\frac{4}{\pi} \sum_{n=1, 100, 2} \left(\frac{1}{n}\right) \sin\left(\frac{n\pi x^2}{L}\right) \cdot \exp\left(-a \left(\frac{n\pi x}{L}\right)^2\right)$ ;

Plot6= Plot[T[x],{x, 0, .09}, PlotLegends->{"t=7200(2h)"}, PlotStyle-> Pink];
  [gráfico] [legenda do gráfico] [estilo do gráf... [rosa]

L=0.09;
Ti=20;
T0=24;
a=0.28*10-6;
t=14 400;
T[x_]:=
  T0+ (Ti-T0) *  $\frac{4}{\pi} \sum_{n=1, 100, 2} \left(\frac{1}{n}\right) \sin\left(\frac{n\pi x^2}{L}\right) \cdot \exp\left(-a \left(\frac{n\pi x}{L}\right)^2\right)$ ;

Plot7= Plot[T[x],{x, 0, .09}, PlotLegends->{"t=10800 s(4h)"}, PlotStyle-> Purple];
  [gráfico] [legenda do gráfico] [estilo do gráf... [roxo]

L=0.09;
Ti=20;
T0=24;
a=0.28*10-6;
t=18 000;
T[x_]:=
  T0+ (Ti-T0) *  $\frac{4}{\pi} \sum_{n=1, 100, 2} \left(\frac{1}{n}\right) \sin\left(\frac{n\pi x^2}{L}\right) \cdot \exp\left(-a \left(\frac{n\pi x}{L}\right)^2\right)$ ;

Plot8= Plot[T[x],{x, 0, .09}, PlotLegends->{"t=18000 s(5h)"}, PlotStyle-> Green];
  [gráfico] [legenda do gráfico] [estilo do gráf... [verde]

Show[Plot1, Plot2, Plot3, Plot4, Plot5,
  [mostra
  Plot6, Plot7, Plot8, PlotRange->{{0, 0.09},{20, 28}}]
    [intervalo do gráfico]

```

(*Condição de contorno de segunda espécie*)

(*para a região com Sol*)

T0=20;

T1=28;

f=70;

L=0.09;

t=10;

a=0.28*10⁻⁶;

$$g[x_]:=f*x+T1+\text{Sum}\left[\frac{4}{2^{n-1}*Pi}\right]\left(T0-T1-\frac{2*f*L^x}{2^{n-1}*Pi}*(-1)^{(n+1)}\right)*$$

$$\text{Sin}\left[\frac{2^{n-1}*Pi^x}{2*L}\right]*x*\text{Exp}\left[-a*\left(\frac{2^{n-1}*Pi^x}{2*L}\right)^2*t\right],\{n,500\};$$

Plot1= Plot[g[x],{x,-0.05,.3}, PlotRange->{{0,.09},{20,60}},
[gráfico [intervalo do gráfico

PlotLegends->{"t=10 s"}, PlotStyle->Green];
[legenda do gráfico [estilo do gráf... [verde

T0=20;

T1=28;

f=70;

L=0.09;

t=100;

a=0.28*10⁻⁶;

$$g[x_]:=f*x+T1+\text{Sum}\left[\frac{4}{2^{n-1}*Pi}\right]\left(T0-T1-\frac{2*f*L^x}{2^{n-1}*Pi}*(-1)^{(n+1)}\right)*$$

$$\text{Sin}\left[\frac{2^{n-1}*Pi^x}{2*L}\right]*x*\text{Exp}\left[-a*\left(\frac{2^{n-1}*Pi^x}{2*L}\right)^2*t\right],\{n,500\};$$

Plot2= Plot[g[x],{x,-0.05,.3}, PlotRange->{{0,.09},{20,60}},
[gráfico [intervalo do gráfico

PlotLegends->{"t=100 s"}, PlotStyle->Blue];
[legenda do gráfico [estilo do gráf... [azul

T0=20;

T1=28;

f=70;

L=0.09;

t=500;

a=0.28*10⁻⁶;

$$g[x_]:=f*x+T1+\text{Sum}\left[\frac{4}{2^{n-1}*Pi}\right]\left(T0-T1-\frac{2*f*L^x}{2^{n-1}*Pi}*(-1)^{(n+1)}\right)*$$

$$\text{Sin}\left[\frac{2^{n-1}*Pi^x}{2*L}\right]*x*\text{Exp}\left[-a*\left(\frac{2^{n-1}*Pi^x}{2*L}\right)^2*t\right],\{n,500\};$$

Plot3= Plot[g[x],{x,-0.05,.3}, PlotRange->{{0,.09},{20,60}},
[gráfico [intervalo do gráfico

PlotLegends->{"t=500 s"}, PlotStyle->Red];
[estilo do gráf... [vermelho

T0=20;

```
T1=28;
f=70;
L=0.09;
t=1000;
a=0.28*10-6;
```

$$g[x_]:=f*x+T1+\frac{\text{Sum}\left[\frac{4}{2^{n-1}*\text{Pi}}\right]\left(T0-T1-\frac{2*f*L^x}{2^{n-1}*\text{Pi}}*_{-1}^{(n+1)}\right)*\text{Sin}\left[\frac{2^{n-1}*\text{Pi}^x}{2*L}\right]*x*\text{Exp}\left[-a*\left(\frac{2^{n-1}*\text{Pi}^x}{2*L}\right)^2*t\right],\{n,500\};$$

```
Plot4= Plot[g[x],{x,-0.05,.3}, PlotRange->{{0,.09},{20,60}},
[gráfico [intervalo do gráfico
PlotLegends->{"t=1000 s"}, PlotStyle->Purple];
[estilo do gráf... [roxo
```

```
T0=20;
T1=28;
f=70;
L=0.09;
t=3600;
a=0.28*10-6;
```

$$g[x_]:=f*x+T1+\frac{\text{Sum}\left[\frac{4}{2^{n-1}*\text{Pi}}\right]\left(T0-T1-\frac{2*f*L^x}{2^{n-1}*\text{Pi}}*_{-1}^{(n+1)}\right)*\text{Sin}\left[\frac{2^{n-1}*\text{Pi}^x}{2*L}\right]*x*\text{Exp}\left[-a*\left(\frac{2^{n-1}*\text{Pi}^x}{2*L}\right)^2*t\right],\{n,500\};$$

```
Plot5= Plot[g[x],{x,-0.05,.3}, PlotRange->{{0,.09},{20,60}},
[gráfico [intervalo do gráfico
PlotLegends->{"t=3600 s(1 h)"}, PlotStyle->Yellow];
[estilo do gráf... [amarelo
```

```
T0=20;
T1=28;
f=70;
L=0.09;
t=10800;
a=0.28*10-6;
```

$$g[x_]:=f*x+T1+\frac{\text{Sum}\left[\frac{4}{2^{n-1}*\text{Pi}}\right]\left(T0-T1-\frac{2*f*L^x}{2^{n-1}*\text{Pi}}*_{-1}^{(n+1)}\right)*\text{Sin}\left[\frac{2^{n-1}*\text{Pi}^x}{2*L}\right]*x*\text{Exp}\left[-a*\left(\frac{2^{n-1}*\text{Pi}^x}{2*L}\right)^2*t\right],\{n,500\};$$

```
Plot6= Plot[g[x],{x,-0.05,.3}, PlotRange->{{0,.09},{20,60}},
[gráfico [intervalo do gráfico
PlotLegends->{"t=10800 s(3 h)"}, PlotStyle->Black];
[estilo do gráf... [preto
```

```
T0=20;
T1=28;
f=70;
L=0.09;
```

```
t=36000;
a=0.28*10-6;
```

$$g[x_]:=f*x+T1+\frac{\text{Sum}\left(\frac{4}{2^{n-1}*\text{Pi}}\right)\left(T0-T1-\frac{2*f*L^x}{2^{n-1}*\text{Pi}}*_{-1}^{(n+1)}\right)*\text{Sin}\left(\frac{2^{n-1}*\text{Pi}}{2*L}*x\right)*e^{-a*\left(\frac{2^{n-1}*\text{Pi}}{2*L}\right)^2*t}}{2*L},\{n,500\};$$

```
Plot7= Plot[g[x],{x,-0.05,.3}, PlotRange→{{0,.09},{20,60}},
  gráfico intervalo do gráfico
  PlotLegends→{"t=3600 s(10 h)"}, PlotStyle→ Gray];
  estilo do gráf... cinza
```

```
T0=20;
T1=28;
f=70;
L=0.09;
t=86400;
a=0.28*10-6;
```

$$g[x_]:=f*x+T1+\frac{\text{Sum}\left(\frac{4}{2^{n-1}*\text{Pi}}\right)\left(T0-T1-\frac{2*f*L^x}{2^{n-1}*\text{Pi}}*_{-1}^{(n+1)}\right)*\text{Sin}\left(\frac{2^{n-1}*\text{Pi}}{2*L}*x\right)*e^{-a*\left(\frac{2^{n-1}*\text{Pi}}{2*L}\right)^2*t}}{2*L},\{n,500\};$$

```
Plot8= Plot[g[x],{x,-0.05,.3}, PlotRange→{{0,.09},{20,60}},
  gráfico intervalo do gráfico
  PlotLegends→{"t=86400 s(24 h)"}, PlotStyle→ Orange];
  estilo do gráf... laranja
```

```
T0=20;
T1=28;
f=70;
L=0.09;
t=172800;
a=0.28*10-6;
```

$$g[x_]:=f*x+T1+\frac{\text{Sum}\left(\frac{4}{2^{n-1}*\text{Pi}}\right)\left(T0-T1-\frac{2*f*L^x}{2^{n-1}*\text{Pi}}*_{-1}^{(n+1)}\right)*\text{Sin}\left(\frac{2^{n-1}*\text{Pi}}{2*L}*x\right)*e^{-a*\left(\frac{2^{n-1}*\text{Pi}}{2*L}\right)^2*t}}{2*L},\{n,500\};$$

```
Plot9= Plot[g[x],{x,-0.05,.3}, PlotRange→{{0,.09},{20,60}},
  gráfico intervalo do gráfico
  PlotLegends→{"t=172800 s(48 h)"}, PlotStyle→ Brown];
  estilo do gráf... marrom
```

```
Show[Plot1, Plot4, Plot2, Plot3, Plot5, Plot6, Plot7, Plot8, Plot9,
  mostra
```

```
  PloAxesLabel→{"Largura(m)", "Temperatura(C°)"}]
  (*Condição de contorno de segunda espécie*)
  (*para a região com Sombra*)
```

```
T0=20;
T1=24;
```

```
f=70;
L=0.09;
t=10;
a=0.28*10-6;
```

$$g[x_]:=f*x+T1+\text{Sum}\left[\frac{4}{2^{n-1}*\text{Pi}}\right]\left(T0-T1-\frac{2*f*L^x}{2^{n-1}*\text{Pi}}*_{-1}^{(n+1)}\right)*\text{Sin}\left[\frac{2^{n-1}*\text{Pi}}{2*L}x\right]*\text{Exp}\left[-a*\left(\frac{2^{n-1}*\text{Pi}}{2*L}\right)^2*t\right],\{n,500\};$$

```
Plot1= Plot[g[x],{x,-0.05,.3}, PlotRange->{{0,.09},{20,40}},
  gráfico intervalo do gráfico
  PlotLegends->{"t=10 s"}, PlotStyle->Green]
  estilo do gráf... Verde
```

```
T0=20;
T1=24;
f=70;
L=0.09;
t=500;
a=0.28*10-6;
```

$$g[x_]:=f*x+T1+\text{Sum}\left[\frac{4}{2^{n-1}*\text{Pi}}\right]\left(T0-T1-\frac{2*f*L^x}{2^{n-1}*\text{Pi}}*_{-1}^{(n+1)}\right)*\text{Sin}\left[\frac{2^{n-1}*\text{Pi}}{2*L}x\right]*\text{Exp}\left[-a*\left(\frac{2^{n-1}*\text{Pi}}{2*L}\right)^2*t\right],\{n,500\};$$

```
Plotr= Plot[g[x],{x,-0.05,.3}, PlotRange->{{0,.09},{20,40}},
  gráfico intervalo do gráfico
  PlotLegends->{"t=500 s"}, PlotStyle->Pink]
  estilo do gráf... rosa
```

```
T0=20;
T1=24;
f=70;
L=0.09;
t=3600;
a=0.28*10-6;
```

$$g[x_]:=f*x+T1+\text{Sum}\left[\frac{4}{2^{n-1}*\text{Pi}}\right]\left(T0-T1-\frac{2*f*L^x}{2^{n-1}*\text{Pi}}*_{-1}^{(n+1)}\right)*\text{Sin}\left[\frac{2^{n-1}*\text{Pi}}{2*L}x\right]*\text{Exp}\left[-a*\left(\frac{2^{n-1}*\text{Pi}}{2*L}\right)^2*t\right],\{n,500\};$$

```
Plot2= Plot[g[x],{x,-0.05,.3}, PlotRange->{{0,.09},{20,40}},
  gráfico intervalo do gráfico
  PlotLegends->{"t=3600 s(1h)"}, PlotStyle->Blue]
  estilo do gráf... azul
```

```
T0=20;
T1=24;
f=70;
L=0.09;
t=18000;
```

a=0.28*10⁻⁶;

$$g[x_]:=f*x+T1+\text{Sum}\left[\frac{4}{2*n-1*\text{Pi}}\right]\left(T0-T1-\frac{2*f*L^x}{2*n-1*\text{Pi}}*_{-1}^{(n+1)}\right)*\text{Sin}\left[\frac{2*n-1*\text{Pi}}{2*L}*x\right]*_{-a}^{\left(\frac{2*n-1*\text{Pi}}{2*L}\right)^2*t},\{n,500\};$$

Plot3= Plot[g[x],{x,-0.05,.3}, PlotRange→{{0,.09},{20,40}},
gráfico intervalo do gráfico

PlotLegends→{"t=18000 s(5h)"}, PlotStyle→ Red]
legenda do gráfico estilo do gráfico vermelho

T0=20;

T1=24;

f=70;

L=0.09;

t=54 000;

a=0.28*10⁻⁶;

$$g[x_]:=f*x+T1+\text{Sum}\left[\frac{4}{2*n-1*\text{Pi}}\right]\left(T0-T1-\frac{2*f*L^x}{2*n-1*\text{Pi}}*_{-1}^{(n+1)}\right)*\text{Sin}\left[\frac{2*n-1*\text{Pi}}{2*L}*x\right]*_{-a}^{\left(\frac{2*n-1*\text{Pi}}{2*L}\right)^2*t},\{n,500\};$$

Plot4= Plot[g[x],{x,-0.05,.3}, PlotRange→{{0,.09},{20,40}},
gráfico intervalo do gráfico

PlotLegends→{"t=54000 s(15h)"}, PlotStyle→ Purple]
legenda do gráfico estilo do gráfico roxo

T0=20;

T1=24;

f=70;

L=0.09;

t=86 400;

a=0.28*10⁻⁶;

$$g[x_]:=f*x+T1+\text{Sum}\left[\frac{4}{2*n-1*\text{Pi}}\right]\left(T0-T1-\frac{2*f*L^x}{2*n-1*\text{Pi}}*_{-1}^{(n+1)}\right)*\text{Sin}\left[\frac{2*n-1*\text{Pi}}{2*L}*x\right]*_{-a}^{\left(\frac{2*n-1*\text{Pi}}{2*L}\right)^2*t},\{n,500\};$$

Plot5= Plot[g[x],{x,-0.05,.3}, PlotRange→{{0,.09},{20,40}},
gráfico intervalo do gráfico

PlotLegends→{"t=86400 s(1 dia)"}, PlotStyle→ Yellow]
legenda do gráfico estilo do gráfico amarelo

T0=20;

T1=24;

f=70;

L=0.09;

t=172 800;

a=0.28*10⁻⁶;

$$g[x_]:=f*x+T1+\text{Sum}\left[\frac{4}{2^{*n-1}*Pi}\right]\left(T0-T1-\frac{2*f*L^x}{2^{*n-1}*Pi}*(-1)^{(n+1)}\right)*\text{Sin}\left[\frac{2^{*n-1}*Pi^x}{2*L}*\chi\right]*\text{Exp}\left[-a*\left(\frac{2^{*n-1}*Pi^x}{2*L}\right)^2*t\right],\{n,500\};$$

```
Plot6= Plot[g[x],{x,-0.05, .3}, PlotRange→{{0, .09},{20, 40}},
PlotLegends→{"t=172800 s(2 dias)"}, PlotStyle→ Black]
```

```
T0=20;
T1=24;
f=70;
L=0.09;
t=345 600;
a=0.28*10^-6;
```

$$g[x_]:=f*x+T1+\text{Sum}\left[\frac{4}{2^{*n-1}*Pi}\right]\left(T0-T1-\frac{2*f*L^x}{2^{*n-1}*Pi}*(-1)^{(n+1)}\right)*\text{Sin}\left[\frac{2^{*n-1}*Pi^x}{2*L}*\chi\right]*\text{Exp}\left[-a*\left(\frac{2^{*n-1}*Pi^x}{2*L}\right)^2*t\right],\{n,500\};$$

```
Plot7= Plot[g[x],{x,-0.05, .3}, PlotRange→{{0, .09},{20, 40}},
PlotLegends→{"t=345600 s(4 dias)"}, PlotStyle→ Gray]
```

```
T0=20;
T1=24;
f=70;
L=0.09;
t=604 800;
a=0.28*10^-6;
```

$$g[x_]:=f*x+T1+\text{Sum}\left[\frac{4}{2^{*n-1}*Pi}\right]\left(T0-T1-\frac{2*f*L^x}{2^{*n-1}*Pi}*(-1)^{(n+1)}\right)*\text{Sin}\left[\frac{2^{*n-1}*Pi^x}{2*L}*\chi\right]*\text{Exp}\left[-a*\left(\frac{2^{*n-1}*Pi^x}{2*L}\right)^2*t\right],\{n,500\};$$

```
Plot8= Plot[g[x],{x,-0.05, .3}, PlotRange→{{0, .09},{20, 40}},
PlotLegends→{"t=604800 s(7 dias)"}, PlotStyle→ Orange]
```

```
Show[Plot1, Plotr, Plot4, Plot2, Plot3, Plot5, Plot6, Plot7,
Plot8, PloAxesLabel→{"Largura(m)", "Temperatura(C°)"}]
```