

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ENGENHARIA MECÂNICA**

NICOLAS FERNANDES ZANI

**AQUISIÇÃO AUTOMATIZADA E ANÁLISE DE DADOS DE
TEMPERATURA EM UMA ESTUFA DE CONVECÇÃO FORÇADA NA
INDÚSTRIA FARMOQUÍMICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA

2021

NICOLAS FERNANDES ZANI

**AQUISIÇÃO AUTOMATIZADA E ANÁLISE DE DADOS DE
TEMPERATURA EM UMA ESTUFA DE CONVECÇÃO FORÇADA NA
INDÚSTRIA FARMOQUÍMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, em Engenharia Mecânica, do Departamento de Engenharia Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Roger Nabeyama Michels

LONDRINA

2021



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Ponta Grossa

Nome da Diretoria
Nome da Coordenação
Nome do Curso



TERMO DE APROVAÇÃO

**AQUISIÇÃO AUTOMATIZADA E ANÁLISE DE DADOS DE TEMPERATURA EM
UMA ESTUFA DE CONVECÇÃO FORÇADA NA INDÚSTRIA FARMOQUÍMICA**

por

NICOLAS FERNANDES ZANI

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 20 de agosto de 2021 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Roger Nabeyama Michels
Prof. Orientador

Ismael De Marchi Neto
Membro titular

Claudia Santos Fiuza Lima
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

Dedico este trabalho a todos aqueles que
de alguma forma me auxiliaram a superar
os desafios da graduação.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer meu orientador Prof. Dr. Roger Nabeyama Michels, que me auxiliou, não somente neste desafio, mas em muitos outros ao longo de toda a minha graduação, mostrando-se sempre disposto a ajudar.

Aos meus pais Fabiana e Harley, por todas as lições e ensinamentos ao longo da minha vida e todos os esforços feitos para que eu pudesse estar onde estou.

À Ana Beatriz, por ter estado ao meu lado em todos os momentos, por todos os conselhos e todas as palavras que me motivaram a seguir em frente apesar das dificuldades, se estou me formando é porque você não permitiu que eu desistisse.

À minha família, em especial meus avós Ivone, Elza e Fortunato e minha tia e madrinha Sonia, por fazerem parte da minha criação e estarem ao meu lado em todos os momentos.

Aos meus amigos de graduação, em especial ao Arthur, Gabriel, Willian e Lucas, que estiveram comigo até os últimos semestres e foram presença constante nos trabalhos em grupo, estudos e momentos de descontração.

Aos meus amigos de longa data Lucas, Fernando e Vinicius por todas as risadas, conselhos e por sempre estarem dispostos a conversar e ouvir.

RESUMO

ZANI, Nicolas F. **AQUISIÇÃO AUTOMATIZADA E ANÁLISE DE DADOS DE TEMPERATURA EM UMA ESTUFA DE CONVECÇÃO FORÇADA NA INDÚSTRIA FARMOQUÍMICA**. 2021. 56. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2021.

Insumo farmacêutico é o principal composto na formulação de medicamentos. A sua secagem é necessária para assegurar a sua qualidade e eficácia durante o armazenamento e comercialização. Dessa forma o objetivo é compreender a secagem de um insumo farmacêutico em uma estufa de convecção forçada através da aquisição de dados de temperatura ao longo de todo o processo. Os dados foram coletados de forma automatizada a partir de um sistema *open source*. A aquisição se deu ao longo de todo o processo de secagem e as medições ocorreram a cada minuto. Utilizou-se dez sensores distribuídos de forma igualitária em duas bandejas. Foram coletados dados de duas amostras visando-se comparar duas secagens distintas. Os gráficos gerados demonstraram que uma das bandejas apresenta temperaturas superiores a outra. Ao analisar individualmente os dados de uma bandeja foi possível identificar quais locais apresentaram as maiores e menores temperaturas. Ao comparar as duas amostras observou-se uma diferença entre o comportamento das temperaturas. A análise dos dados mostrou que as variações de comportamento decorrem de uma deficiência na distribuição de ar aquecido na estufa. Foi sugerido algumas modificações no processo e no equipamento visando solucionar o problema.

Palavras-chave: Coleta automatizada de dados. *Open source*. Estufa de convecção forçada. Análise de dados.

ABSTRACT

ZANI, Nicolas F. **AUTOMATIZED ACQUISITION AND ANALYSIS OF DATA OF TEMPERATURE IN A FORCED CONVECTION OVEN IN AN INDUSTRY OF PHARMACEUTICAL INGREDIENT.** 2021. 56. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Federal Technology University - Paraná. Londrina, 2021.

Pharmaceutical ingredient is the main component in the formulation of medicines. Your drying is necessary to ensure your quality and effectiveness during the storing and commercializing. In that way the objective is understand the drying of a pharmaceutical ingredient in a forced convection oven through of an acquisition of data of temperature all over the process. The data was collected in an automatized way using an open-source system. The acquisition came all over the drying process and the measurement occurred minute by minute. It was used ten sensors distributed equally in two trays. It was collected data from two samples aiming to compare two different drying. The generated graphics demonstrated that one of the trays shows higher temperatures than the other one. When analyzing individually the data from one tray was possible identify its locations shows the higher and the lowest temperatures. When compare the two samples it was noted a difference between the behavior of the both temperatures. The analyze of the data shows that the variations of the behavior elapse of a deficit in the distribution of hot air in the oven. It was suggest some modifications in the process and in the equipment aiming to solve the problem.

Keywords: Automatized acquisition of data. *Open-source*. Forced convection oven. Data analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma da metodologia.....	18
Figura 2 - Sistema de aquisição de dados automatizado.....	19
Figura 3 - Teste 01: montagem dos sensores.....	20
Figura 4 - Esquema da estufa em estudo.	22
Figura 5 - Vista frontal da estufa aberta.	22
Figura 6 - Disposição dos sensores na bandeja 2.....	23
Figura 7 - Disposição dos sensores na bandeja 14.....	23
Figura 8 - Sensores numerados.	24
Figura 9 - Fluxograma das divisões para comparação e análise.	26
Figura 10 - Amostra 1: resumo dos dados obtidos por etapa da secagem.	36
Figura 11 - Amostra 1: dados estáticos por sensor.	36
Figura 12 - Amostra 2: resumo dos dados obtidos por etapa da secagem.	44
Figura 13 - Amostra 2: dados estáticos por sensor.	45
Figura 14 - Inversão das bandejas duas horas após a homogeneização, a esquerda a ordem inicial e a direita após a inversão.	52
Figura 15 - Corte lateral da estufa: furos para a entrada de ar na estufa.	53
Figura 16 - Chapa furada para adequar o diâmetro das entradas de ar.	53
Figura 17 - Chapa com os furos totalmente aberta.	54
Figura 18 - Chapa com furos parcialmente aberta.	54

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Teste 02: aumento da temperatura da água até a ebulição.	21
Gráfico 2 - Amostra 1, secagem como um todo: temperaturas dos sensores 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 (na legenda do gráfico, respectivamente, S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9 e S10) ao longo do tempo.	27
Gráfico 3 - Amostra 1, secagem como um todo: Maior e menor temperatura dos sensores 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 ao longo do tempo.	28
Gráfico 4 - Amostra 1, secagem como um todo: Diferença de temperatura entre a maior e menor temperatura dos sensores 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 ao longo do tempo.	28
Gráfico 5 - Amostra 1, bandeja 2: Temperaturas dos sensores 1, 2, 3, 4 e 5 (na legenda do gráfico, respectivamente, S1, S2, S3, S4 e S5) ao longo do tempo.	30
Gráfico 6 - Amostra 1, bandeja 2: Maior e menor temperatura dos sensores 1, 2, 3, 4 e 5 ao longo do tempo.....	30
Gráfico 7 - Amostra 1, bandeja 2: Diferença de temperatura entre a maior e menor temperatura dos sensores 1, 2, 3, 4 e 5 ao longo do tempo.	31
Gráfico 8 - Amostra 1, bandeja 14: Temperaturas dos sensores 6, 7, 8, 9 e 10 (na legenda do gráfico, respectivamente, S6, S7, S8, S9 e S10) ao longo do tempo.	33
Gráfico 9 - Amostra 1, bandeja 14: Maior e menor temperatura dos sensores 6, 7, 8, 9 e 10 ao longo do tempo.....	33
Gráfico 10 - Amostra 1, bandeja 14: Diferença de temperatura entre a maior e menor temperatura dos sensores 6, 7, 8, 9 e 10 ao longo do tempo.	34
Gráfico 11 - Amostra 2, secagem como um todo: temperaturas dos sensores 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 (na legenda do gráfico, respectivamente, S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9 e S10) ao longo do tempo.	37
Gráfico 12 - Amostra 2, secagem como um todo: Maior e menor temperatura dos sensores 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 ao longo do tempo.	38
Gráfico 13 - Amostra 2, secagem como um todo: Diferença de temperatura entre a maior e menor temperatura dos sensores 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 ao longo do tempo.	38
Gráfico 14 - Amostra 2, bandeja 2: Temperaturas dos sensores 1, 2, 3, 4 e 5 (na legenda do gráfico, respectivamente, S1, S2, S3, S4 e S5) ao longo do tempo.	40
Gráfico 15 - Amostra 2, bandeja 2: Maior e menor temperatura dos sensores 1, 2, 3, 4 e 5 ao longo do tempo.....	40
Gráfico 16 - Amostra 2, bandeja 2: Diferença de temperatura entre a maior e menor temperatura dos sensores 1, 2, 3, 4 e 5 ao longo do tempo.	41
Gráfico 17 - Amostra 2, bandeja 14: Temperaturas dos sensores 6, 7, 8, 9 e 10 (na legenda do gráfico, respectivamente, S6, S7, S8, S9 e S10) ao longo do tempo.	42
Gráfico 18 - Amostra 2, bandeja 14: Maior e menor temperatura dos sensores 6, 7, 8, 9 e 10 ao longo do tempo.....	42
Gráfico 19 - Amostra 2, bandeja 14: Diferença de temperatura entre a maior e menor temperatura dos sensores 6, 7, 8, 9 e 10 ao longo do tempo.	43
Gráfico 20 - Bandeja 2: temperaturas médias das duas amostras ao longo do tempo.	46

Gráfico 21 - Bandeja 2: maiores temperaturas das duas amostras ao longo do tempo.	46
Gráfico 22 - Bandeja 2: menores temperaturas das duas amostras ao longo do tempo.	47
Gráfico 23 - Bandeja 2: diferença entre maior e menor temperatura das duas amostras ao longo do tempo.	47
Gráfico 24 - Bandeja 14: temperaturas médias das duas amostras ao longo do tempo.	49
Gráfico 25 - Bandeja 14: maiores temperaturas das duas amostras ao longo do tempo.	49
Gráfico 26 - Bandeja 14: menores temperaturas das duas amostras ao longo do tempo.	50
Gráfico 27 - Bandeja 14: diferença entre maior e menor temperatura das duas amostras ao longo do tempo.	50

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 JUSTIFICATIVA	14
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
4.1 INDÚSTRIA FARMOQUÍMICA	15
4.2 SECAGEM DE PRODUTOS FÁRMACOS.....	15
4.2.1 ESTUFA DE CONVECÇÃO FORÇADA	16
4.3 COLETA AUTOMATIZADA DE DADOS	16
4.3.1 PLATAFORMA ARDUINO	17
5 METODOLOGIA	17
5.1 MONTAGEM DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS	18
5.2 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE COLETA	19
5.3 TESTE DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS	20
5.4 PROCESSO DE COLETA DE DADOS.....	21
5.5 ANÁLISE DE DADOS	24
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
6.1 PRIMEIRA AMOSTRA.....	27
6.2 SEGUNDA AMOSTRA.....	37
6.3 COMPARAÇÃO ENTRE AS DUAS AMOSTRAS	45
6.4 MELHORIAS PROPOSTAS.....	51
7 CONCLUSÃO	55
REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

A automação de processos acaba por incorporar grande parte das medições e inspeções ao longo da linha de produção. Dessa forma, o número de produtos fora da especificação esperada diminui, criando um aumento da uniformidade e por consequência da qualidade do produto (LAMB, 2015).

Em contrapartida, para Lamb (2015), as desvantagens da automação estão relacionadas com os altos custos envolvidos para o desenvolvimento e implementação das tecnologias necessárias. Em muitos casos, a rentabilidade do produto acaba sendo prejudicada, pois descobre-se tardiamente que os custos envolvidos foram mais onerosos do que o esperado.

Assim, torna-se cada vez mais importante o desenvolvimento de ferramentas que barateiem esse processo. Nesse cenário, surgem plataformas *open source* como o Arduino, que são utilizados para a construção de instrumentos científicos de baixo custo (ARDUINO, 2008).

Em específico, nesse trabalho foi realizada a coleta automatizada de dados na etapa de secagem de um insumo farmacêutico. Segundo Mujumdar (2006), insumos fármacos que serão comercializados na forma sólida passam por três estágios de fabricação: síntese do produto intermediário, síntese do produto final e dosagem. Após cada uma dessas etapas, é necessário realizar a secagem do produto, a fim de assegurar a qualidade do material.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a distribuição de temperatura ao longo do processo de secagem de insumo fármaco por meio da coleta automatizada e análise dos dados de temperatura, via sistema *open source*.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Testar e avaliar se os sensores de coleta de temperatura estão realizando marcações confiáveis;
- Montar o equipamento dentro da estufa;
- Coletar dados de temperatura ao longo de todo o processo de secagem, de forma automatizada;
- Realizar análises dos dados coletados;
- Avaliar o desempenho do processo através dos resultados obtidos, comparando os dados obtidos dentro de uma mesma amostra e entre amostras distintas.

3 JUSTIFICATIVA

Dados da Secretária do Comércio exterior mostram que a exportação de insumos farmacêuticos apresentou uma queda em 2018, arrecadando cerca de US\$ 740,2 milhões, em contrapartida no ano anterior em que o ramo gerou resultados na casa de US\$752,5 milhões (ABIQUIFI, s.d.).

Contudo, os dados mostram que houve um aumento na importação de insumos farmacêuticos no mesmo ano, onde passou de US\$8,4 bilhões em 2017 para US\$9,8 bilhões em 2018 (ABIQUIFI, s.d.).

A indústria farmacêutica nacional apresentou um grande crescimento nos últimos anos, devido a incentivos públicos e privados, sendo que os insumos utilizados pelas empresas brasileiras são em sua maioria de países asiáticos (MITIDIERI, 2015).

Todas essas informações mostram uma dualidade de cenários em setores que deveriam ser complementares. Dessa forma, as indústrias farmoquímicas brasileiras devem procurar alternativas para suprir a necessidade e serem mais atrativas para as empresas farmacêuticas nacionais.

Ainda, sobre o ramo de fármacos nacional, Mitidieri (2015) diz que o setor está debilitado, dentre outros fatores, pela falta de inovação tecnológica. Isso demonstra a importância de se realizar estudos que tragam mais informações que possam auxiliar na melhoria do setor.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 INDÚSTRIA FARMOQUÍMICA

Segundo Mitidieri (2015), farmoquímico, fármaco ou insumo farmacêutico ativo (IFA) são termos que se referem ao princípio ativo de medicamentos utilizados para a cura, tratamento ou prevenção de doenças. Assim, é possível definir a indústria farmoquímica como a responsável pela produção de IFAs através da síntese química.

Sendo o insumo farmacêutico a principal matéria prima do medicamento, está diretamente ligado a qualidade, eficácia e segurança de remédios. Por esse motivo as plantas industriais desse ramo são reguladas e monitoradas pelos órgãos sanitários, que emitem o certificado de conformidade com as Boas Práticas de Fabricação (BPF) (MITIDIERI, 2005).

Para que uma indústria do ramo consiga o BPF, é necessário que ela siga uma série de normas e comprove que está cumprindo o que o órgão regulamentador exige.

Essa série de normas torna o ramo de produção de IFAs extremamente burocrático, porque é necessário manter registros de todo o funcionamento da fábrica e dos processos. Para isso, surge a necessidade de se conhecer todos os parâmetros da produção, como temperatura e umidade do produto em cada etapa.

4.2 SECAGEM DE PRODUTOS FÁRMACOS

O termo secagem é normalmente associado ao processo térmico de remoção de substâncias voláteis de uma mistura, gerando assim um produto sólido (MUJUMDAR, 2006).

Ainda, segundo Mujumdar (2006), durante esse processo dois fenômenos ocorrem simultaneamente: a transferência de calor do meio externo para a mistura, ocasionando a evaporação dos líquidos presentes na superfície; e a transferência de líquido da parte interna para a externa, que permite que o primeiro fenômeno ocorra.

Mujumdar (2006) ainda cita que toda secagem depende desses dois fatores, sendo que o primeiro é dependente das condições externas como temperatura,

umidade relativa e área de troca térmica. Enquanto que o segundo depende das propriedades físicas inerentes do material sólido.

No processo de secagem, qualquer um dos dois fatores acima pode ser o limitante, porém ambos ocorrem sempre de forma simultânea (MUJUMDAR, 2006).

Já que este é um setor em que não pode haver nenhuma interferência na qualidade do produto, alguns cuidados devem ser tomados para que não ocorram contaminações, entre eles o uso de filtros de ar, utilização de gases inertes e materiais de construção não contaminantes como o aço inoxidável polido. Isso faz com que os secadores possuam um alto valor de mercado (MUJUMDAR, 2006).

São dois os principais secadores utilizados nesse ramo: os diretos e os indiretos. No primeiro, a troca térmica é realizada principalmente através da convecção e o fluido entra em contato direto com o produto. Já nos secadores indiretos, a troca ocorre principalmente por condução, porque há contato da superfície aquecida com o produto (MUJUMDAR, 2006).

4.2.1 ESTUFA DE CONVECÇÃO FORÇADA

Segundo a classificação apresentada, a estufa de convecção se enquadra como secador direto, porque o ar quente é o fluido que realizará a troca térmica. Para isso, ele é forçado a circular entre as prateleiras onde o produto está alocado.

Os componentes normalmente encontrados em estufas são um ventilador (que fará o ar circular entre as prateleiras), filtros de ar (para evitar a entrada de elementos contaminantes) e válvulas de admissão e exaustão (para controlar a temperatura no interior da estufa) (MUJUMDAR, 2006).

O secador no qual a temperatura foi monitorada se enquadra nesse mesmo princípio de funcionamento e classificação.

4.3 COLETA AUTOMATIZADA DE DADOS

Segundo Lamb (2015), equipamentos automatizados substituem atividades manuais que exigem uma tomada de decisão do operador. O principal fator para se automatizar um processo é o tempo de execução (SOUSA, 2015). Assim, ao realizar

a automatização de uma atividade espera-se que ela leve menos tempo para ser executada pela programação do que se fosse realizada por um operador.

Existem atualmente diversos dispositivos para realizar a automatização de processos como o *datalogger* da *National Instruments*, que possui como finalidade o armazenamento de dados, juntamente com a data e a hora em que a medição ocorreu e a plataforma Arduino (MICHELS, 2017).

4.3.1 PLATAFORMA ARDUINO

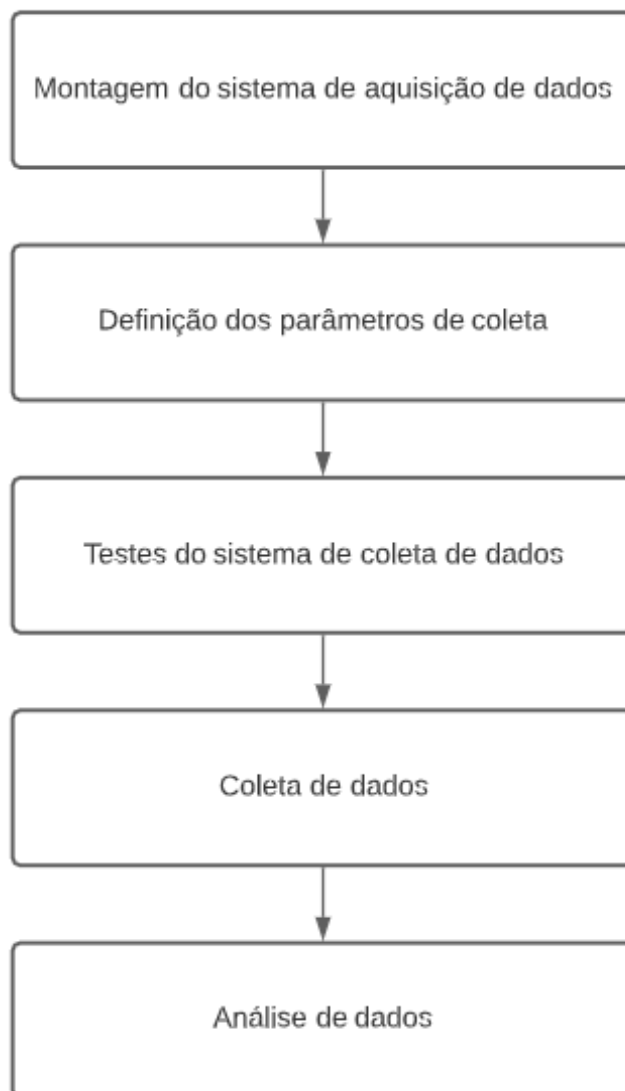
Trata-se de um microcontrolador com plataforma *open source*, que possui como base *hardware* e *software easy-to-use* (tradução literal: fácil de usar). Para a sua utilização é necessária uma placa Arduino, que possui *inputs*, que recebem sinais de sensores e os transformam em *outputs*, ou seja, executa uma ação, como ativar um motor (ARDUINO, 2018).

Para que seja possível realizar essa leitura e posterior ação, é necessário realizar a programação do microcontrolador da placa através da linguagem de programação Arduino e de sua IDE (*Integrated Development Environment* ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado) (ARDUINO, 2018).

Ainda, segundo Arduino (2008), o uso de tal plataforma se justifica pelo seu baixo custo se comparado a outros microcontroladores, facilidade de uso, por apresentar um sistema *easy-to-use* e por ser *open source*, permitindo que o programador saiba exatamente as operações que estão ocorrendo, além de possibilitar diferentes aplicações.

5 METODOLOGIA

Para melhor entendimento da metodologia que foi adotada, com a finalidade de obtenção automatizada dos dados de temperatura no processo de secagem de insumo fármaco em estufa de ventilação forçada e posterior análise do seu funcionamento, foi estruturado um fluxograma que pode ser visualizado conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma da metodologia.

Fonte: próprio autor

5.1 MONTAGEM DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

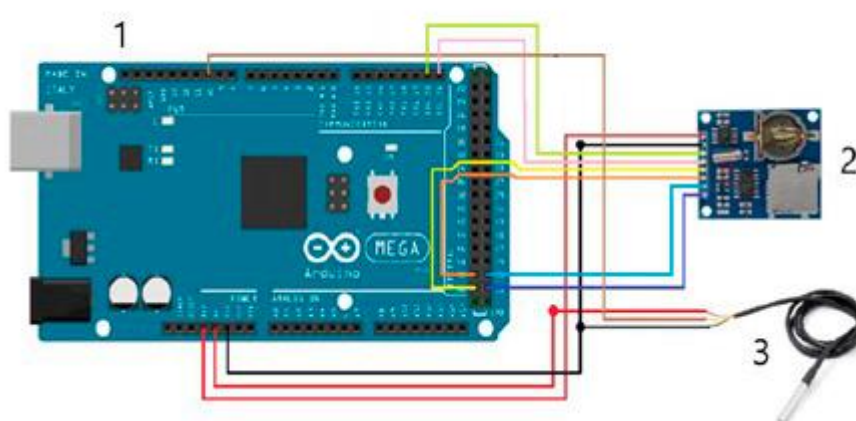
O sistema utilizado é composto por uma placa Arduino modelo Mega 2560. O armazenamento e registro de data e hora foi realizado por um *datalogger* RTC/SD, que utiliza um cartão mini SD de até 32 GB, no formato FAT16 e FAT32, os dados foram armazenados no formato .txt (MICHELS, 2020).

Os sensores de temperatura utilizados são do modelo DS18B20, esse modelo é impermeável e de aço inoxidável, mede temperaturas de -55°C à 125°C, com uma precisão de $\pm 0,5^\circ\text{C}$ para uma faixa de -10°C à 85°C. A escolha deste modelo se deu, principalmente, pelo fato de vários sensores poderem ser ligados a uma mesma porta

de comunicação, devido ao seu sistema *1-wire*, que possibilitou o endereçamento particular de cada sensor (MICHELS, 2020).

O sistema montado com todos os seus componentes é representado na Figura 2, sendo 1: Placa Arduino Mega; 2: Datalogger RTC/SD; 3: Sensor de temperatura (adaptado de MICHELS, 2020).

Figura 2 - Sistema de aquisição de dados automatizado.



Fonte: Adaptado de Michels (2020)

5.2 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE COLETA

Um dos principais parâmetros é o número de sensores a serem utilizados. Como a fonte de alimentação do sistema suporta até dez sensores, sem que seja necessário incluir uma fonte exclusiva para eles, decidiu-se por utilizar essa quantidade.

Outro ponto importante é a frequência de coleta dos dados, o processo leva em torno de seis horas para ser finalizado, assim, optou-se por coletar dados de minuto em minuto.

Com relação ao número de amostras, como o insumo farmacêutico apresenta uma série de rigorosas medidas para garantir a integridade e qualidade do produto, optou-se por realizar a coleta das informações no menor número possível de amostras.

Como o objetivo desse estudo é avaliar o processo de secagem e isso será realizado através da comparação entre os dados de uma mesma amostra e de

amostras distintas, é necessário que se colete ao menos duas amostras, sendo esse o número definido.

5.3 TESTE DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

Antes de iniciar a coleta de dados na estufa, foram realizados dois testes para que fosse possível avaliar se o sistema estava funcionando corretamente e se as marcações de temperatura, data e hora, estavam ocorrendo de forma confiável.

Para o primeiro, o sistema foi montado, conforme Figura 3, e foi realizada a coleta de temperatura ao longo de 24 horas. A data e hora de início das marcações foi 16 de julho de 2021 às 18:22 e encerrou no dia 17 de julho de 2021 às 18:22.

Figura 3 – Teste 01: montagem dos sensores.



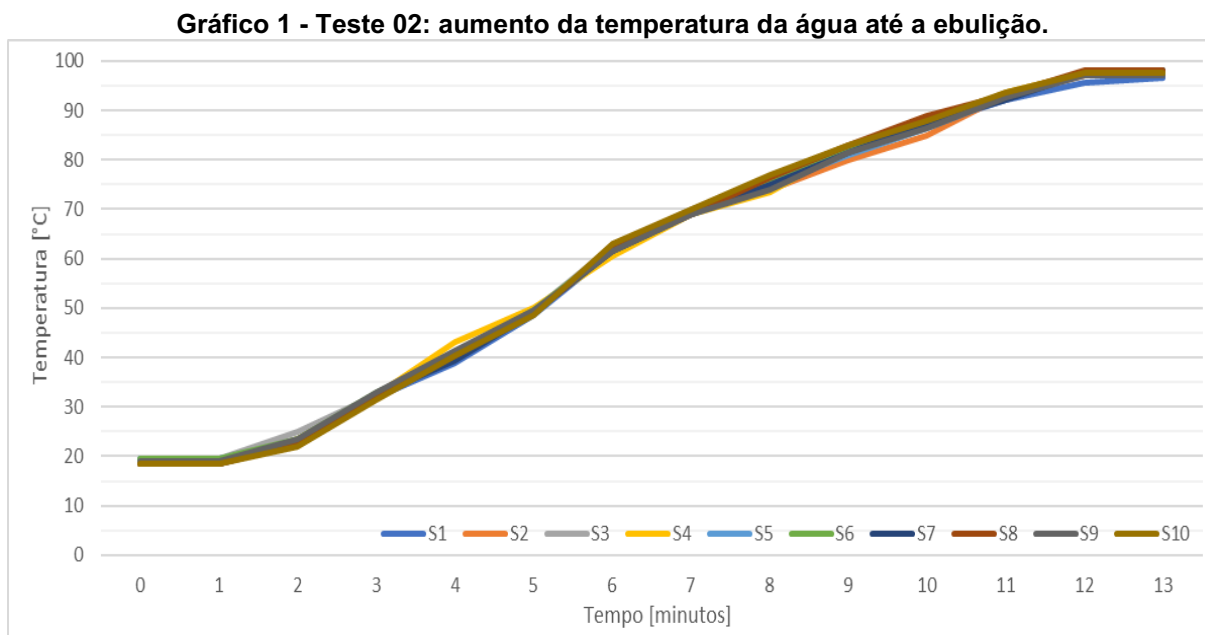
Fonte: próprio autor

O objetivo foi verificar se as marcações de data e hora de todos os sensores estavam sendo armazenadas dentro da frequência desejada, ou seja, uma marcação por minuto.

O segundo teste constou em acompanhar o aquecimento da água até sua temperatura de ebulição, a fim de verificar se os sensores estavam registrando o aumento da temperatura.

Isso se fez necessário, pois os sensores não apresentaram variação de temperatura ao longo do primeiro teste, mas, como mostrado no Gráfico 1, ao entrar

em contato com a água eles registraram o aumento gradual de temperatura até a sua temperatura de ebulição.



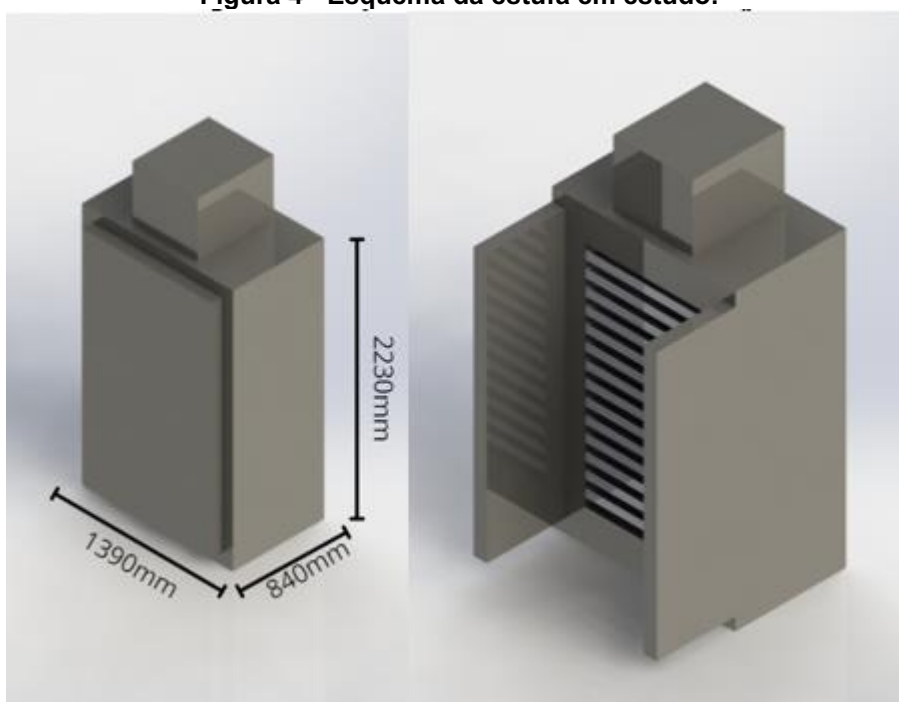
Fonte: próprio autor

Ainda, vale ressaltar que todos os sensores realizaram medições muito próximas ao longo de todo o aquecimento, demonstrando que não há problemas em nenhum deles.

5.4 PROCESSO DE COLETA DE DADOS

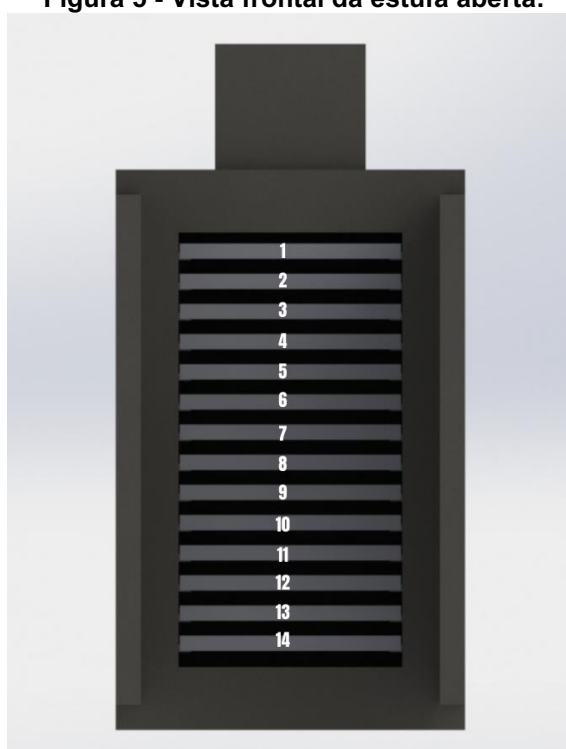
A estufa na qual a coleta de dados foi realizada possui quatorze bandejas, conforme o mostrado nas Figuras 4 e 5.

Figura 4 - Esquema da estufa em estudo.



Fonte: próprio autor

Figura 5 - Vista frontal da estufa aberta.



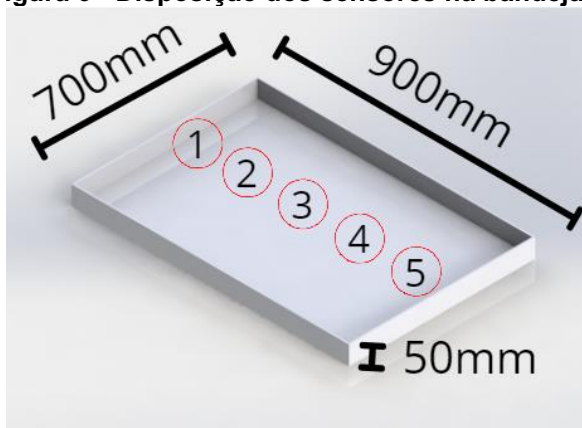
Fonte: próprio autor

Com base nos conhecimentos prévios da empresa, sabe-se que a 14^a e a 2^a apresentam, respectivamente, as maiores e menores temperaturas ao longo do

funcionamento. Assim, optou-se por dispor os sensores exclusivamente nesses pontos.

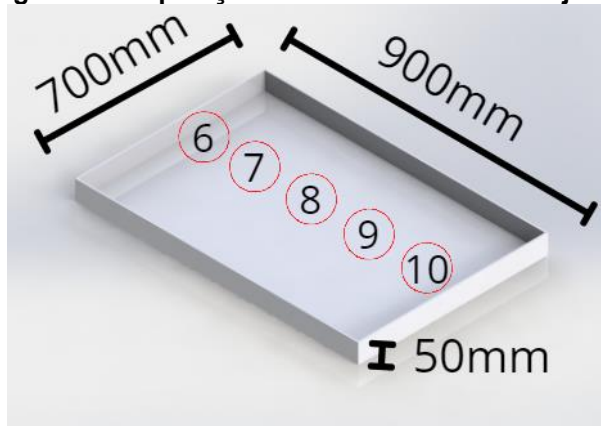
Como foram utilizados ao todo dez sensores, cada bandeja recebeu cinco deles, dispostos conforme a Figura 6 e 7.

Figura 6 - Disposição dos sensores na bandeja 2.



Fonte: próprio autor

Figura 7 - Disposição dos sensores na bandeja 14.



Fonte: próprio autor

Os sensores foram identificados fisicamente, seguindo a mesma nomenclatura do endereçamento, evitando o posicionamento e leitura errônea dos dados coletados, conforme Figura 8.

Figura 8 - Sensores numerados.



Fonte: próprio autor

Outro ponto a se destacar foi o acompanhamento do processo, apesar do sistema realizar a coleta automática dos dados, foi preciso vistoriar a operação em dois momentos.

O primeiro deles foi na transferência do produto para as bandejas, onde era necessário organizar os sensores de forma correta. E o segundo ocorreu na homogeneização, onde o produto deve ser retirado da estufa e misturado manualmente, sendo inevitável o reposicionamento dos sensores.

Ao término de cada coleta, o cartão SD foi removido e as informações armazenadas em uma planilha. Então, o cartão foi formatado e retornou para o sistema.

5.5 ANÁLISE DE DADOS

Após a coleta dos dados, eles foram armazenados em planilhas, que posteriormente serviram para a elaboração dos gráficos trazidos na sequência, para que se pudesse entender e avaliar o comportamento da temperatura ao longo do processo de secagem.

Para uma melhor compreensão do processo, avaliou-se que era necessário realizar duas comparações. A primeira delas foi entre marcações de uma mesma amostra e optou-se pela seguinte divisão:

- Análise da secagem como um todo, sendo as marcações das duas bandejas trazidas e analisadas nos mesmos gráficos, para que se possa compará-las;
- Análise da bandeja de menor temperatura, sendo colocado nos gráficos apenas as marcações dessa bandeja, ou seja, os sensores de 1 a 5, para que se possa comparar as diferenças presentes em uma mesma bandeja;
- Análise da bandeja de maior temperatura, sendo colocado nos gráficos apenas as marcações dessa bandeja, ou seja, os sensores de 6 a 10, para que se possa comparar as diferenças presentes em uma mesma bandeja.

Para cada uma das divisões foram gerados os seguintes gráficos:

- Temperaturas marcadas pelos sensores ao longo do tempo;
- Maior e menor temperaturas marcadas ao longo do tempo;
- Diferença entre maior e menor temperaturas ao longo do tempo.

A segunda comparação realizada foi entre amostras distintas, com as seguintes divisões:

- Análise da bandeja de menor temperatura, sendo colocado nos gráficos as médias das marcações dessa bandeja, de cada uma das amostras. Ou seja, a média das marcações realizadas pelos sensores de 1 a 5 a cada minuto em cada uma das amostras;
- Análise da bandeja de maior temperatura, sendo colocado nos gráficos as médias das marcações dessa bandeja, de cada uma das amostras. Ou seja, a média das marcações realizadas pelos sensores de 6 a 10 a cada minuto em cada uma das amostras;

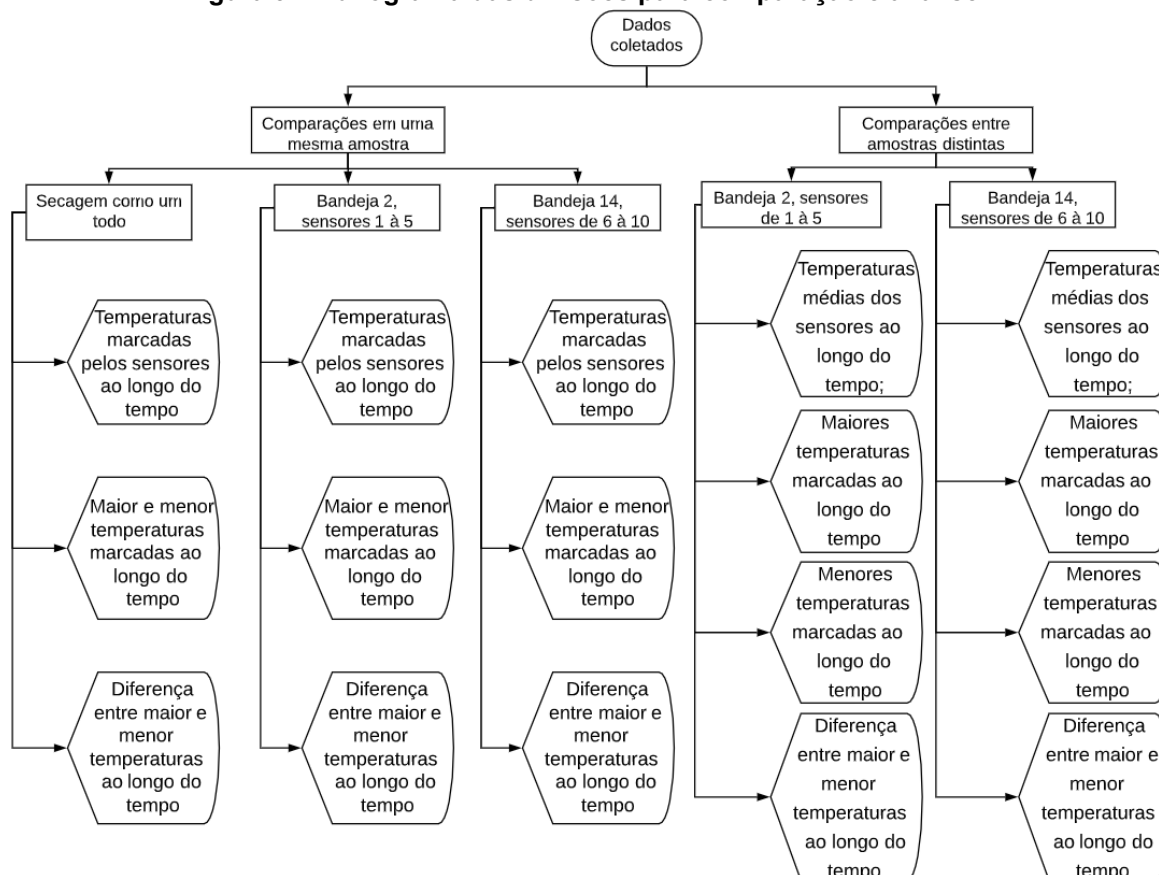
Para cada uma das divisões foram gerados os seguintes gráficos:

- Temperaturas médias dos sensores ao longo do tempo;
- Maiores temperaturas marcadas ao longo do tempo;

- Menores temperaturas marcadas ao longo do tempo;
- Diferença entre maior e menor temperaturas ao longo do tempo.

Para deixar mais claro as divisões e gráficos gerados, foi elaborado o fluxograma da Figura 9.

Figura 9 - Fluxograma das divisões para comparação e análise.



Fonte: próprio autor

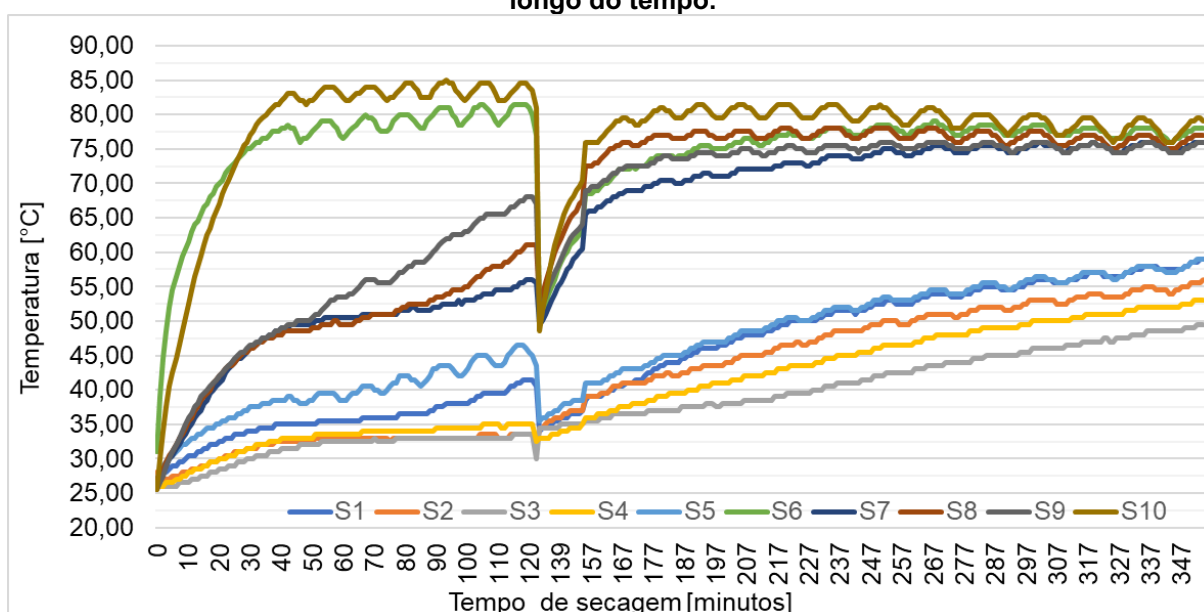
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como trazido anteriormente, serão apresentados gráficos para que se possa avaliar a distribuição de temperatura da estufa durante o processo de secagem. Primeiramente serão apresentados os gráficos individuais de cada uma das amostras, para que se possa avaliar as diferenças existentes dentro de um mesmo lote.

6.1 PRIMEIRA AMOSTRA

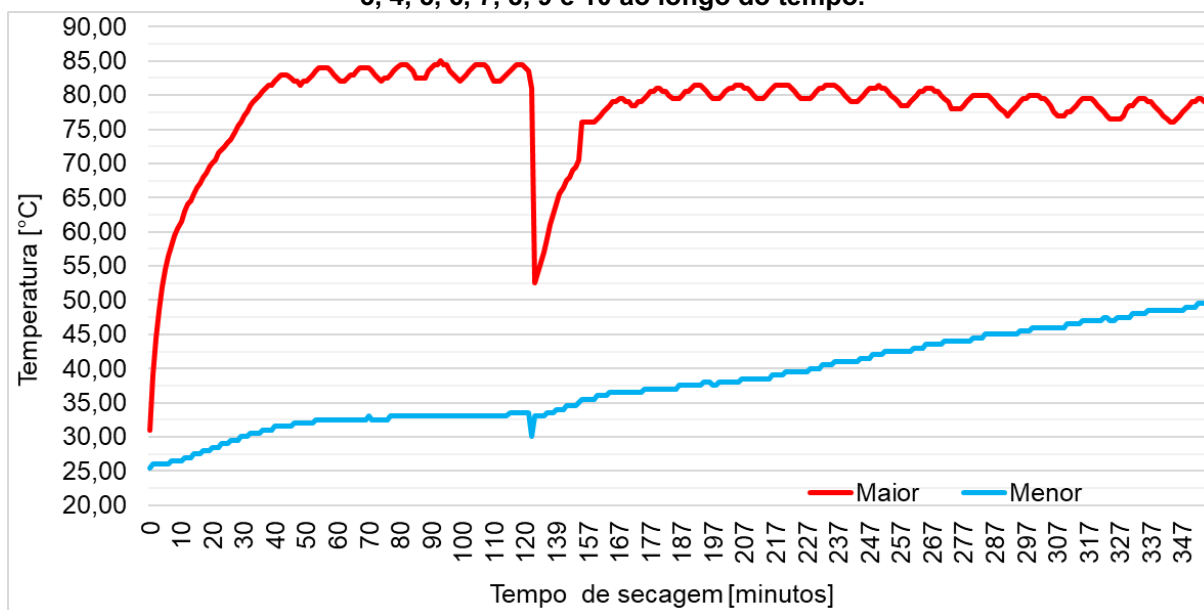
Assim, seguindo o fluxograma das divisões para comparação e análise (figura 9), será discutido inicialmente os gráficos da secagem como um todo (analisando os dez sensores, independente da bandeja). A primeira amostra permaneceu 354 minutos na estufa, cerca de seis horas de secagem (360 minutos).

Gráfico 2 - Amostra 1, secagem como um todo: temperaturas dos sensores 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 (na legenda do gráfico, respectivamente, S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9 e S10) ao longo do tempo.



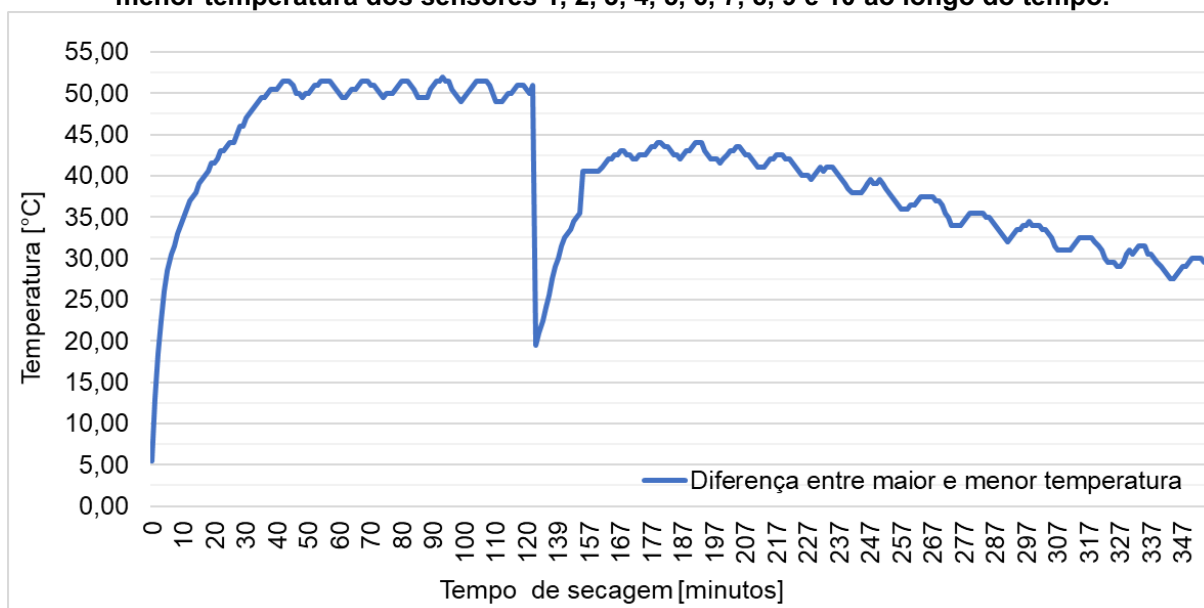
Fonte: próprio autor

Gráfico 3 - Amostra 1, secagem como um todo: Maior e menor temperatura dos sensores 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 ao longo do tempo.



Fonte: próprio autor

Gráfico 4 - Amostra 1, secagem como um todo: Diferença de temperatura entre a maior e menor temperatura dos sensores 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 ao longo do tempo.



Fonte: próprio autor

A partir do gráfico 2 é possível comprovar o conhecimento prévio da empresa, de que a bandeja de número 14, com os sensores de 6 a 10, apresenta temperaturas superiores a bandeja de número 2, com os sensores de 1 a 5.

Outro ponto a se destacar dos gráficos é a clara divisão criada pela queda de temperatura após o processo de homogeneização, ocorrida entre 120 e 134 minutos.

Foram criadas assim regiões com comportamentos distintos: a pré-homogeneização e a pós-homogeneização.

A primeira região possui como característica um grande aumento das temperaturas nos primeiros minutos, atingindo uma das maiores temperaturas registradas em toda a secagem $84,00^{\circ}\text{C}$, ou seja, um acréscimo de $53,00^{\circ}\text{C}$ com relação a maior temperatura marcada no início da secagem ($31,00^{\circ}\text{C}$) em 54 minutos. Após atingir esse patamar, a maior temperatura oscila sempre entre $84,00^{\circ}\text{C}$ e $82,00^{\circ}\text{C}$ até que a homogeneização ocorra, conforme apresentado no gráfico 2.

Nessa região também que ocorre a maior variação de temperatura, chegando a $52,00^{\circ}\text{C}$ de diferença entre a maior e menor temperatura, conforme gráfico 4. Outro comportamento importante a se destacar desse gráfico é que essa grande diferença existente permanece sempre próxima a esse valor, oscilando entre $52,00^{\circ}\text{C}$ e $49,00^{\circ}\text{C}$, demonstrando que há uma estabilização não só nas maiores temperaturas (como já abordado), mas também nas menores após o rápido acréscimo de temperatura nos momentos iniciais.

A segunda região tem um comportamento similar a primeira nos minutos iniciais, porém menos acentuado. Em que, a maior temperatura sai de $52,50^{\circ}\text{C}$ logo após a homogeneização (134 minutos de secagem) e chega a maior temperatura da região ($81,50^{\circ}\text{C}$) com 191 minutos de secagem, uma diferença de $29,00^{\circ}\text{C}$ em 57 minutos. Após atingir tal patamar de temperatura, a maior temperatura começa a apresentar uma tendência de queda, finalizando a secagem a $79,00^{\circ}\text{C}$, mas chegando a registrar nesse intervalo $76,00^{\circ}\text{C}$, conforme gráfico 3, mostrando uma grande variação nas maiores temperaturas nesse período.

O comportamento que mais se difere entre as regiões é o da menor temperatura, havendo na segunda região uma gradual crescente nas marcações, saindo de $33,00^{\circ}\text{C}$ logo após a homogeneização e chegando a $49,50^{\circ}\text{C}$ ao término da secagem, conforme o gráfico 3.

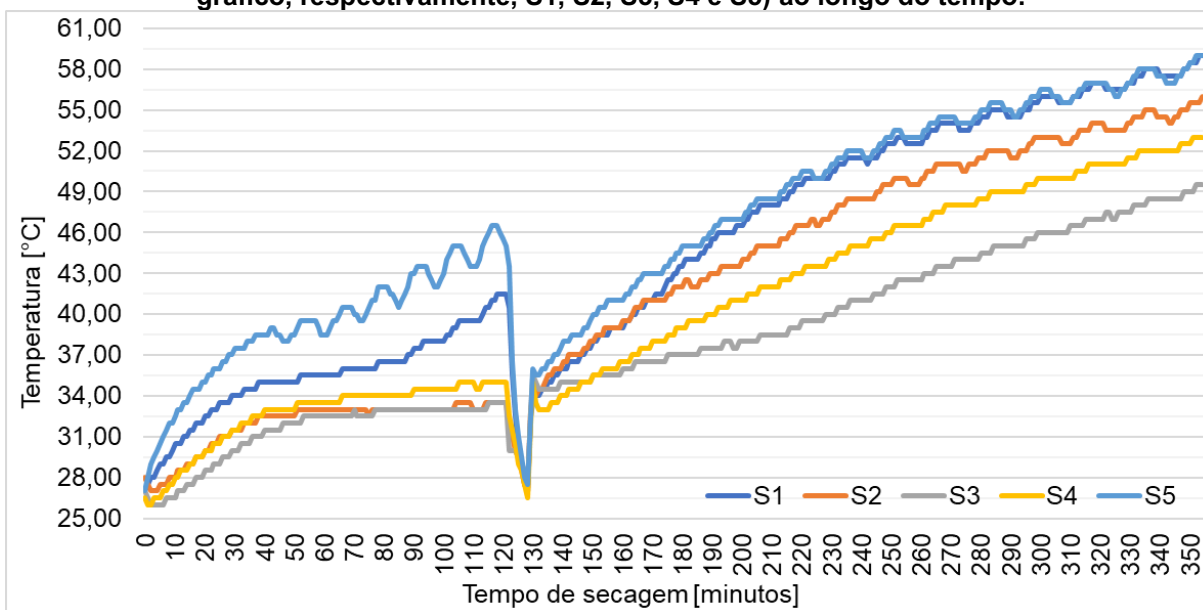
O gráfico 4 evidencia ainda mais os comportamentos da segunda região descritos acima, em que a diferença de temperatura cai de $44,00^{\circ}\text{C}$ (191 minutos de secagem) e chega a $29,50^{\circ}\text{C}$ ao término da secagem, tendo a menor diferença nesse intervalo ($27,50^{\circ}\text{C}$) ocorrido com 343 minutos de secagem.

Por fim, ao se analisar a homogeneização, é possível verificar a sua efetividade pois diminuiu a diferença entre maior e menor temperatura de $50,50^{\circ}\text{C}$

registrados na última marcação pré-homogeneização para 22,5°C, na primeira marcação pós-homogeneização, conforme gráfico 4.

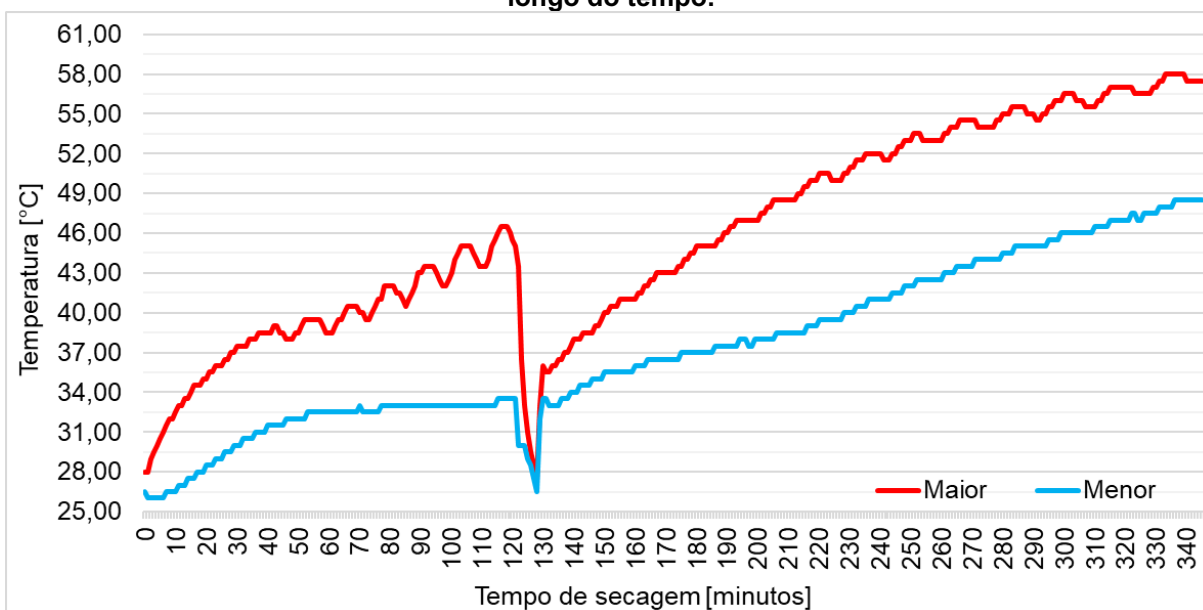
Seguindo com as análises, será abordado agora a bandeja 2, sensores 1 a 5.

Gráfico 5 - Amostra 1, bandeja 2: Temperaturas dos sensores 1, 2, 3, 4 e 5 (na legenda do gráfico, respectivamente, S1, S2, S3, S4 e S5) ao longo do tempo.



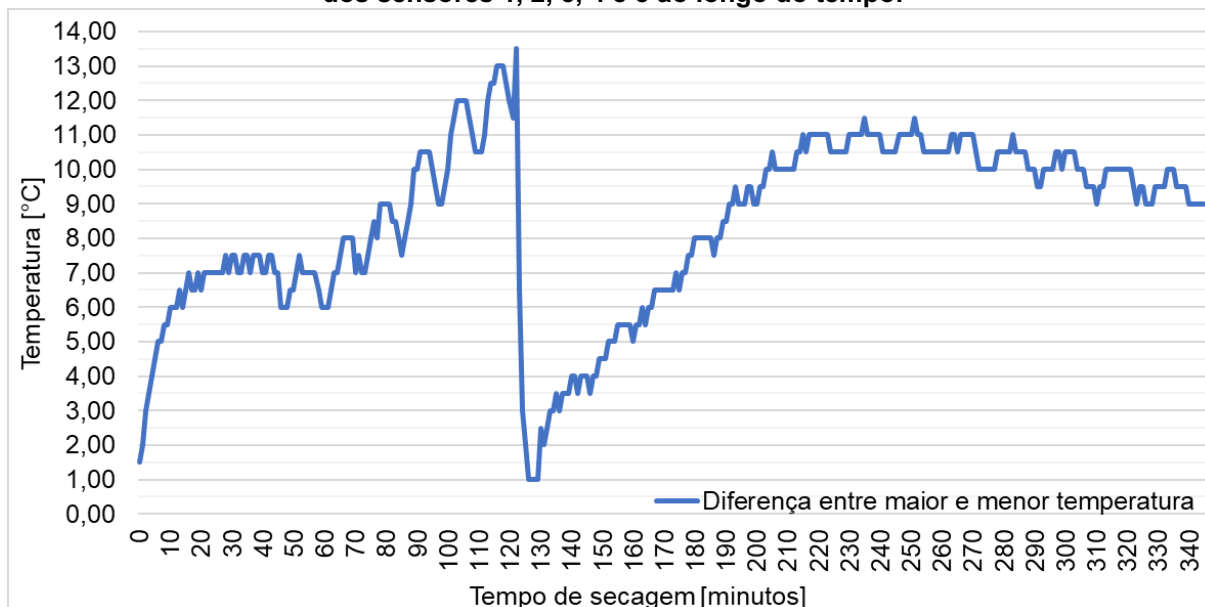
Fonte: próprio autor

Gráfico 6 - Amostra 1, bandeja 2: Maior e menor temperatura dos sensores 1, 2, 3, 4 e 5 ao longo do tempo.



Fonte: próprio autor

Gráfico 7 - Amostra 1, bandeja 2: Diferença de temperatura entre a maior e menor temperatura dos sensores 1, 2, 3, 4 e 5 ao longo do tempo.



Fonte: próprio autor

A partir da comparação do gráfico 5 com o gráfico 2, é possível verificar que a bandeja 2 apresenta as menores temperaturas registradas ao longo da secagem. Além disso, o gráfico 5 mostra que os sensores que quase sempre marcaram as maiores temperaturas, são os sensores 1 (S1) e 5 (S5), que estavam posicionados nas extremidades da bandeja 2 (figura 6), enquanto que as menores temperaturas foram majoritariamente registradas pelo sensor 3 (S3).

Isso se dá pela construção da estufa de convecção, a entrada do ar aquecido ocorre em suas laterais, logo a transferência de calor por convecção é maior nessa região devido à alta temperatura em que o ar se encontra. À medida que o ar troca calor com o produto ele vai diminuindo a sua temperatura, o que faz com que ele chegue a temperaturas menores no meio da bandeja.

O fato de no início da secagem haver uma disparidade relativamente grande entre as marcações dos sensores das extremidades, sugere uma má distribuição da vazão do ar, ou uma diferença na temperatura do ar aquecido nas entradas.

Ao comparar o gráfico 6 com o gráfico 3, é possível identificar que as maiores temperaturas registradas na região de pré-homogeneização na bandeja 2 não apresentaram o mesmo comportamento que na secagem como um todo.

No gráfico 3, após um rápido crescimento na temperatura, as marcações começam a oscilar dentro de um intervalo até a homogeneização, porém no gráfico 6

após o rápido acréscimo na temperatura, saindo de 28,00°C e chegando em 39,00°C em 42 minutos de secagem, ela se mantém em uma crescente até a homogeneização, chegando a 46,50°C (maior temperatura da região) com 116 minutos de secagem.

Essa diferença de comportamento também é observada ao se comparar o gráfico 7 com o gráfico 4, em que as diferenças entre a maior e menor temperatura na bandeja 2 apresentam uma crescente até o momento da homogeneização, chegando a uma diferença de 13,00°C, enquanto que na secagem como um todo a diferença começou a oscilar dentro de um intervalo.

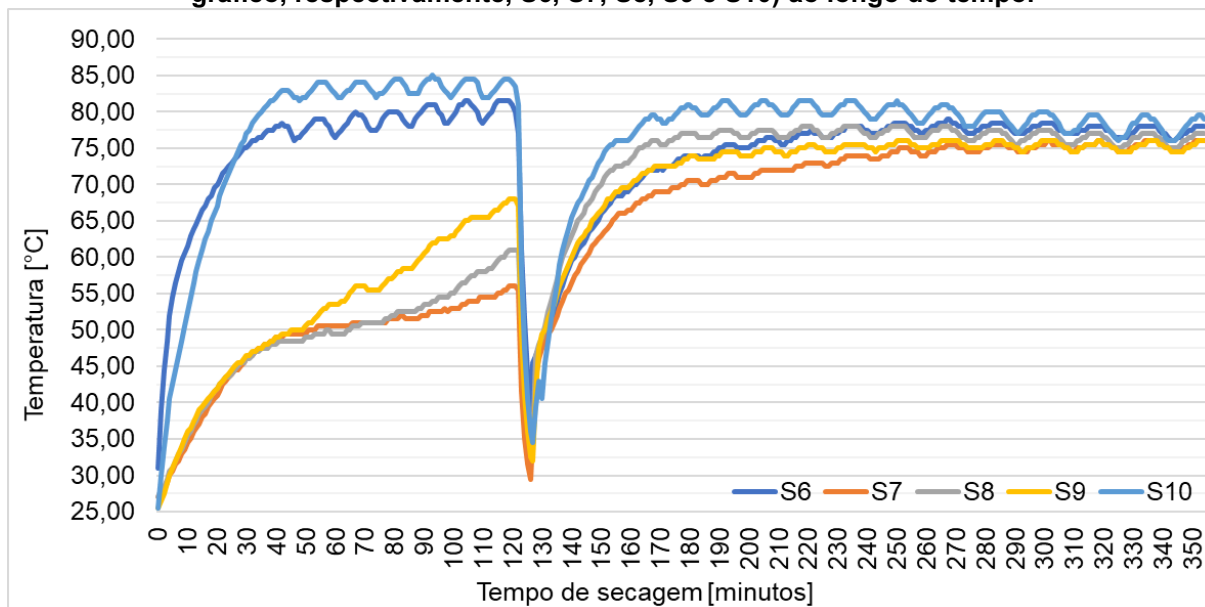
Na região pós-homogeneização o comportamento apresentado no gráfico 6 não se assemelha em nada com o gráfico 3, pois ele não apresenta um rápido crescimento da maior temperatura e nem diminui com o decorrer da secagem. O que ocorre é justamente o contrário, a temperatura sai de 36,00°C logo após a homogeneização e chega a maior temperatura registrada 59,00°C ao término da secagem.

Na bandeja 2 após a homogeneização a diferença entre a maior e a menor temperatura (gráfico 7) apresenta uma crescente menos acentuada que a apresentada na secagem como um todo (gráfico 4) nos minutos iniciais, saindo de 3,00°C e chegando a 11,00°C com 215 minutos de secagem. Desse ponto até o final da secagem a diferença chega a cair, mas não tão significativamente quanto na secagem como um todo, finalizando com uma diferença de 9,50°C.

Com relação a homogeneização, ela foi efetiva, tendo em vista que reduziu a diferença entre a maior e menor temperatura de 12,00°C para 3,00°C.

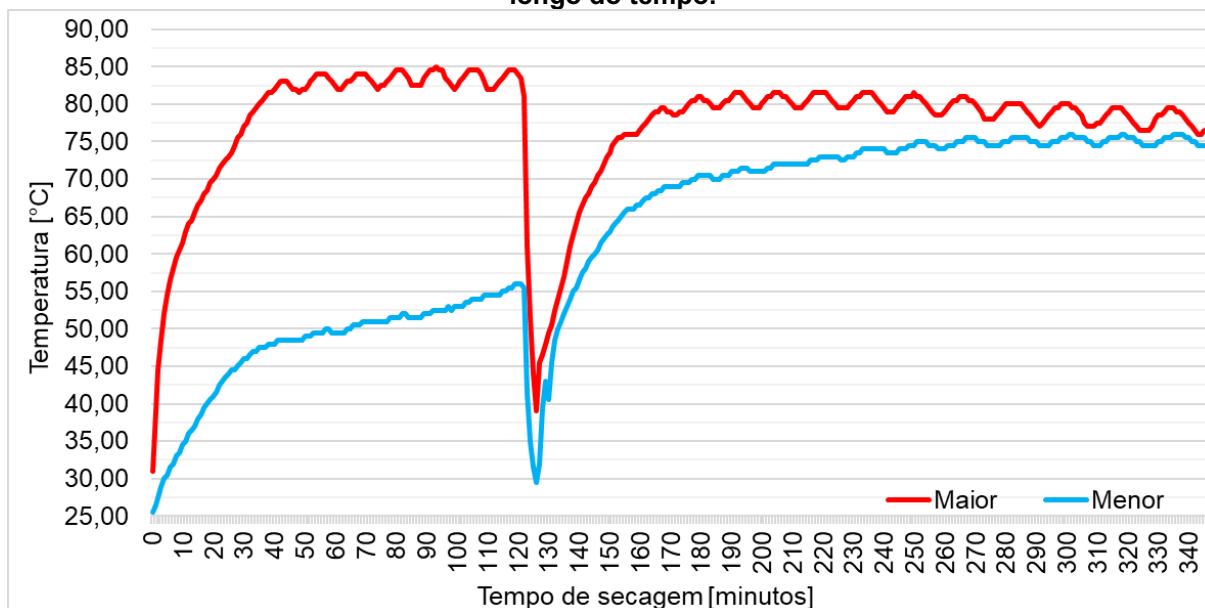
A última análise da primeira amostra será a da bandeja 14, sensores de 6 a 10.

Gráfico 8 - Amostra 1, bandeja 14: Temperaturas dos sensores 6, 7, 8, 9 e 10 (na legenda do gráfico, respectivamente, S6, S7, S8, S9 e S10) ao longo do tempo.



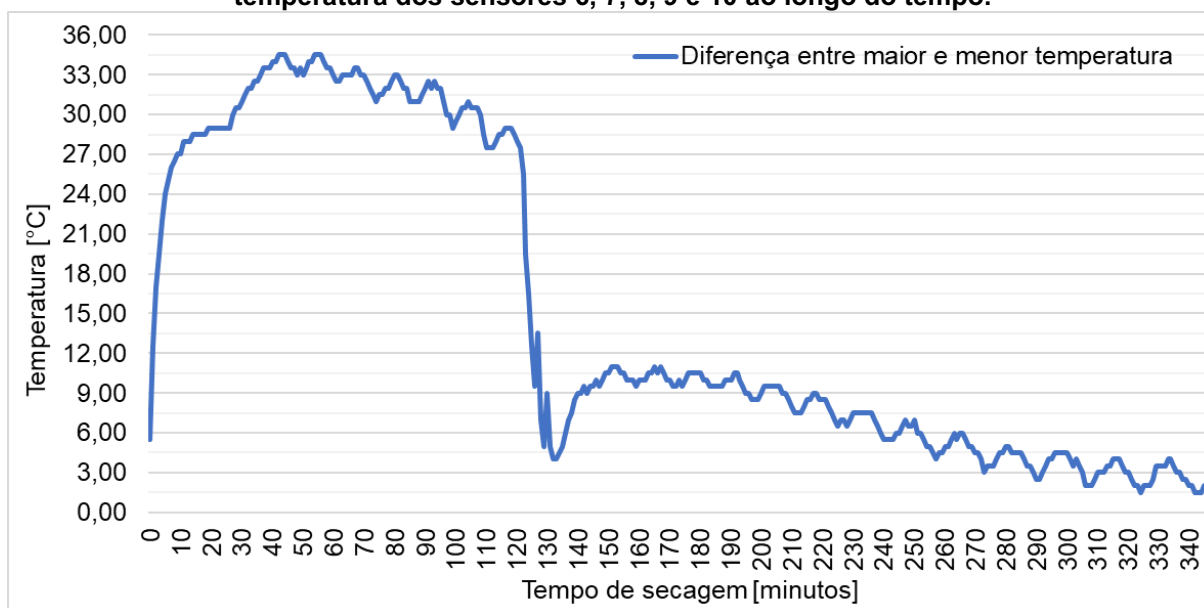
Fonte: próprio autor

Gráfico 9 - Amostra 1, bandeja 14: Maior e menor temperatura dos sensores 6, 7, 8, 9 e 10 ao longo do tempo.



Fonte: próprio autor

Gráfico 10 - Amostra 1, bandeja 14: Diferença de temperatura entre a maior e menor temperatura dos sensores 6, 7, 8, 9 e 10 ao longo do tempo.



Fonte: próprio autor

Ao analisar o gráfico 8 é possível notar que os sensores 6 e 10 (S6 e S7), ou seja, os sensores mais externos (figura 7), são os que registraram as maiores temperaturas, de forma similar ao ocorrido na bandeja 2 (gráfico 5). Sendo o sensor da extremidade direita, em ambos os casos, o que registrou as maiores temperaturas, reforçando a ideia de que há um déficit de distribuição do ar nas entradas da estufa.

Entretanto, ao analisar as marcações do sensor 8 (S8) o mais interno da bandeja 14 (figura 7), ele não apresenta o mesmo comportamento do sensor 3, apresentando temperaturas intermediárias e não as menores durante a secagem.

Como os sensores 6 e 10 são sempre os que marcaram as maiores temperaturas ao longo do processo de secagem, a curva de maior temperatura do gráfico 9 é a mesma do gráfico 3.

Por outro lado, as menores temperaturas apresentaram um comportamento diferente da bandeja 2 e, por consequência, da secagem como um todo.

Ao analisar a curva do gráfico 9 é possível verificar que as menores temperaturas na pré e pós homogeneização apresentaram um comportamento muito similar, ou seja, um rápido crescimento das temperaturas nos minutos iniciais, seguido por um aumento gradual das temperaturas até a homogeneização e final de secagem, respectivamente, algo que não foi identificado no gráfico 6.

Na pré-homogeneização da bandeja 14, a menor temperatura saiu de 25,50°C e chegou a 48,00°C em 40 minutos de secagem, para posteriormente chegar a 56,00°C antes da homogeneização (120 minutos de secagem).

Enquanto que, na pós-homogeneização, a temperatura saiu de 51,00°C e chegou a 70,50°C em apenas 45 minutos, para depois chegar ao término da secagem a 76,00°C, ou seja, um aumento de 5,50°C em 175 minutos.

Esse aumento contínuo das menores temperaturas, aliado com o comportamento da maior temperatura descrito ao se analisar o gráfico 3, fazem com que as diferenças entre a maior e menor temperatura estejam sempre diminuindo, fato que pode ser observado no gráfico 10.

Nele, é possível verificar que na pré-homogeneização ocorre a maior diferença de temperatura 34,50°C e que, após esse pico aos 57 minutos de secagem, a diferença foi de 28,00°C com 120 minutos de secagem.

Na pós-homogeneização, a diferença fica ainda menor, sendo a maior delas de 11,00°C com 165 minutos de secagem e a menor 1,50°C com 342 minutos de secagem. No momento em que o processo foi encerrado havia uma diferença de 3,00°C.

Além disso, ao se comparar as curvas de maior temperatura das duas bandejas, é possível identificar uma clara diferença entre elas: na bandeja 2 a curva está sempre em uma crescente; enquanto que na bandeja 14 após chegar a sua maior temperatura, a curva oscila dentro de um intervalo.

Essa diferença é um indício de que, no segundo caso, um dos fenômenos que ocorrem de forma simultânea durante a secagem citados por Mujumdar (2006), chegaram em seu limite. Ou seja, ou o produto e o interior da estufa chegaram a uma mesma temperatura entrando em equilíbrio térmico, ou não havia mais solvente para ser evaporado do produto.

No primeiro caso ambos os fenômenos ainda não haviam chegado a esse nível, mostrando que, mesmo estando com o mesmo tempo de secagem, há uma diferença na condição do produto dentro de uma mesma amostra.

A fim de resumir e facilitar o entendimento, alguns dados importantes sobre a primeira amostra estão destacados na figura 10.

Figura 10 - Amostra 1: resumo dos dados obtidos por etapa da secagem.

		Secagem como um todo	Bandeja 2	Bandeja 14
Pré-homogeneização	Maior temperatura	85,00	46,50	85,00
	Menor temperatura	25,50	26,00	25,50
	Maior diferença	52,00	13,00	34,50
	Menor diferença	5,50	1,50	5,50
Homogeneização	Maior temperatura antes da homogeneização	84,00	45,50	84,00
	Maior temperatura depois da homogeneização	55,50	36,00	55,50
	Menor temperatura antes da homogeneização	33,50	33,50	56,00
	Menor temperatura depois da homogeneização	33,00	33,00	51,00
	Diferença antes da homogeneização	50,50	12,00	28,00
	Diferença após a homogeneização	22,50	3,00	4,50
Pós-homogeneização	Maior temperatura	81,50	58,00	81,50
	Menor temperatura	33,00	26,50	29,50
	Maior diferença	44,00	11,50	13,50
	Menor diferença	22,50	1,00	1,50

Fonte: próprio autor

Ademais, foi realizado uma análise estatística descritiva das marcações em cada um dos sensores, conforme a figura 11. Nela, foi contemplado a temperatura média, máxima e mínima registrada, além do desvio padrão.

Figura 11 – Amostra 1: dados estáticos por sensor.

		Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3	Sensor 4	Sensor 5	Sensor 6	Sensor 7	Sensor 8	Sensor 9	Sensor 10
Pré-homogeneização	Média [°C]	35,36	31,93	31,26	32,56	39,21	74,91	47,80	48,62	52,25	76,52
	Máxima [°C]	41,50	33,50	33,50	35,00	46,50	81,50	56,00	61,00	68,00	85,00
	Mínima [°C]	27,00	27,00	26,00	26,00	27,00	31,00	27,00	27,00	25,50	25,50
	Desvio padrão [°C]	3,18	1,84	2,30	2,49	4,28	8,85	7,06	7,66	10,41	13,19
Pós-homogeneização	Média [°C]	50,27	47,91	41,81	44,95	50,90	75,29	72,24	75,76	73,72	78,38
	Máxima [°C]	59,00	56,00	49,50	53,00	59,00	79,00	76,00	78,00	76,00	81,50
	Mínima [°C]	34,50	35,00	34,50	33,00	36,00	52,50	51,00	55,50	53,50	54,00
	Desvio padrão [°C]	6,49	5,52	4,46	5,53	5,94	4,84	4,81	3,66	3,94	4,09

Fonte: próprio autor

Os dados da figura 11 reforçam as análises já realizadas anteriormente, em que os sensores mais externos (sensores 1, 5, 6 e 10) apresentaram as maiores médias e temperaturas, em suas respectivas bandejas, tanto na pré, quanto na pós-homogeneização.

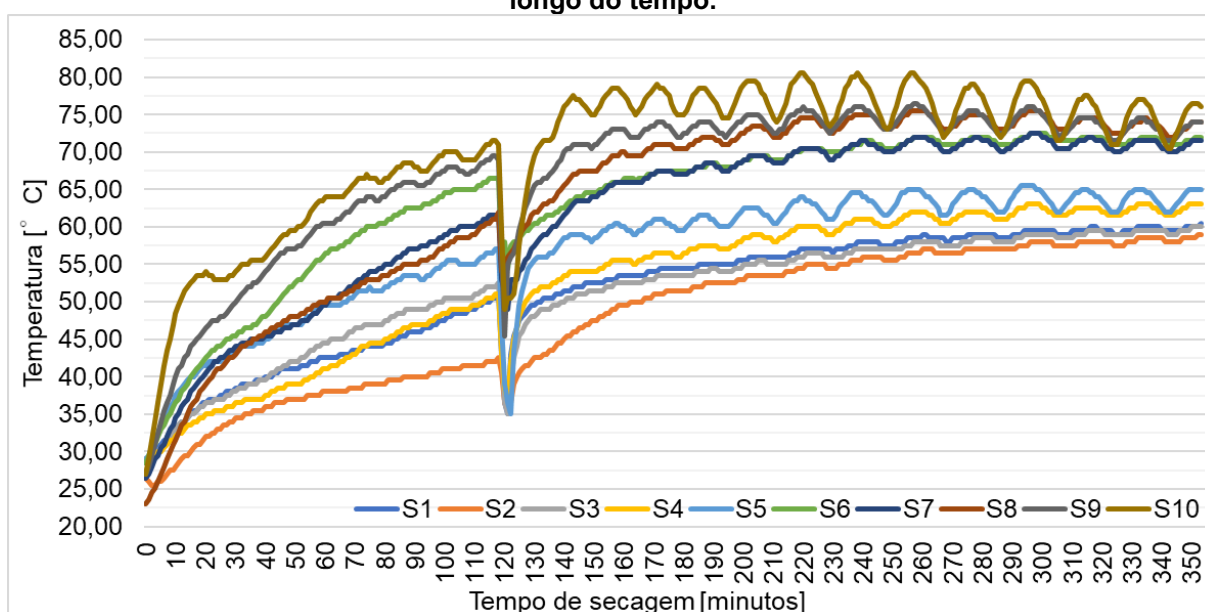
Outro fator a se destacar é o desvio padrão. Espera-se que com o passar da secagem as temperaturas registradas pelos sensores estejam mais próximas umas das outras, sinalizando que o produto está próximo ao equilíbrio térmico e por consequência, reduzindo os valores do desvio padrão.

Tal comportamento é observado em apenas uma das bandejas: a 14, pois todos os sensores (de 6 a 10) tiveram uma redução no desvio padrão. O que demonstra, mais uma vez, que as duas bandejas se encontravam em condições distintas ao término da secagem.

6.2 SEGUNDA AMOSTRA

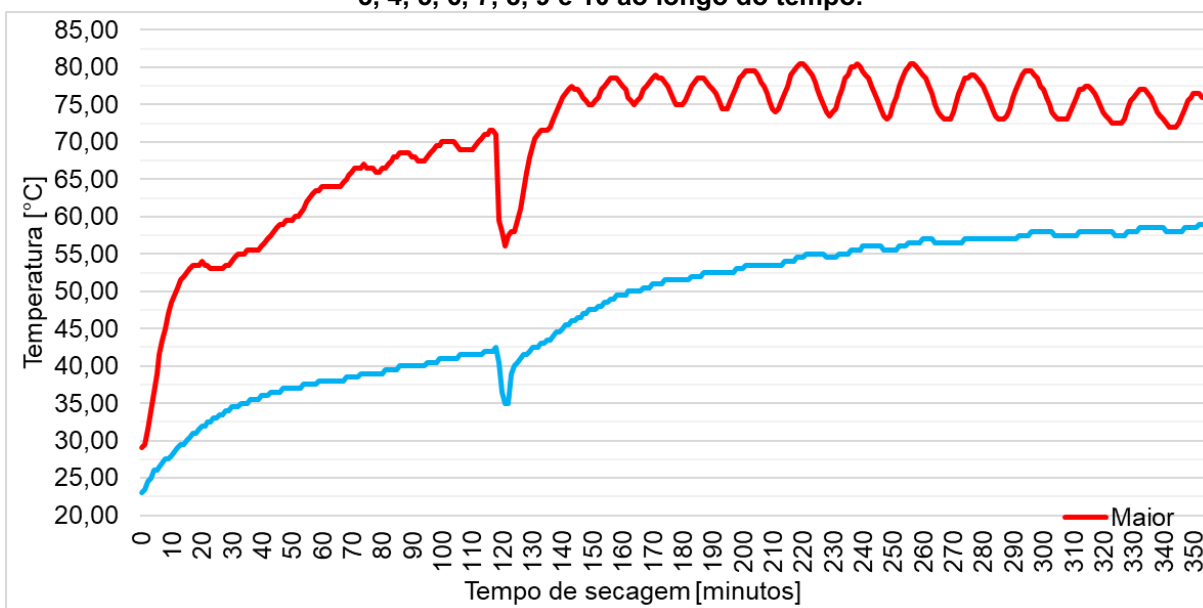
As análises da segunda amostra serão realizadas na mesma sequência que da primeira: secagem como um todo, bandeja 2 e bandeja 14. Tanto o término da secagem, quanto a homogeneização ocorreram com o mesmo tempo de secagem da primeira, respectivamente 354 e 120 minutos.

Gráfico 11 - Amostra 2, secagem como um todo: temperaturas dos sensores 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 (na legenda do gráfico, respectivamente, S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9 e S10) ao longo do tempo.



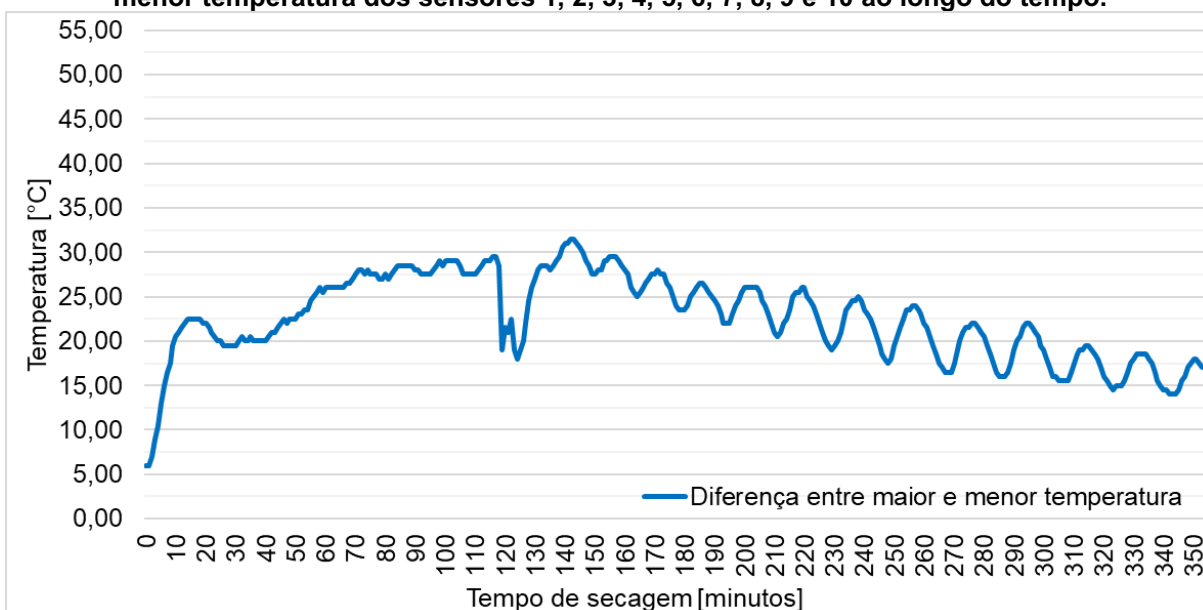
Fonte: próprio autor

Gráfico 12 - Amostra 2, secagem como um todo: Maior e menor temperatura dos sensores 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 ao longo do tempo.



Fonte: próprio autor

Gráfico 13 - Amostra 2, secagem como um todo: Diferença de temperatura entre a maior e menor temperatura dos sensores 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 ao longo do tempo.



Fonte: próprio autor

Ao analisar os gráficos 11, 12 e 13, é possível diferenciar as duas regiões retratadas na primeira amostra: pré-homogeneização e pós-homogeneização.

Por outro lado, é mais difícil notar a diferença de temperatura existente entre uma bandeja e outra na região de pré-homogeneização (gráfico 11), pois as menores

temperaturas da bandeja 14 (sensor 8) estão mais próximas das maiores temperaturas da bandeja 2 (sensor 5).

Outro ponto a se destacar é o comportamento da maior temperatura dessa região. Ela apresenta um rápido crescimento nos minutos iniciais, indo de 29,00°C a 53,50°C em 20 minutos, e segue aumentando de forma menos acentuada até a homogeneização, chegando a 71,00°C com 118 minutos de secagem.

A diferença de temperatura entre a maior e menor medição está sempre aumentando na região de pré-homogeneização, conforme gráfico 13. Isso demonstra que o aumento da maior temperatura é sempre superior ao da menor. Após o rápido acréscimo de temperatura, a diferença encontra-se em 22,00°C e antes da homogeneização ela está em 29,50°C.

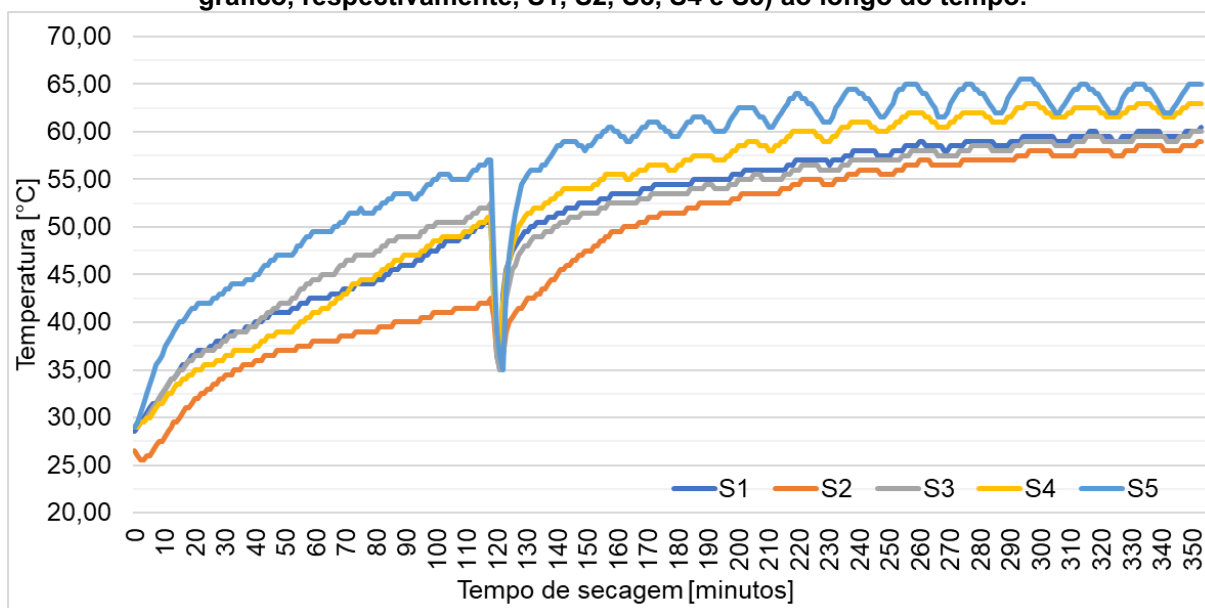
Na região de pós-homogeneização do gráfico 11, fica mais nítida a diferença de temperaturas existentes entre as bandejas, pois já é possível notar que os sensores 1 a 5 (bandeja 2) apresentaram temperaturas sempre inferiores aos sensores 6 a 10 (bandeja 14).

Além disso, após o rápido acréscimo nos minutos iniciais, a maior temperatura registrada começa a oscilar entre 80,50°C e 72,00°C, encerrando a secagem em 76,00°C, conforme gráfico 12.

Ao se analisar o gráfico 13, a região de pós-homogeneização apresentou o comportamento esperado no processo de secagem, ou seja, a diferença entre maior e menor temperatura foi decrescendo com o passar do tempo. De tal forma que, com 142 minutos de secagem, a diferença era de 31,50°C e ao término do processo apresentou apenas 17,00°C de diferença.

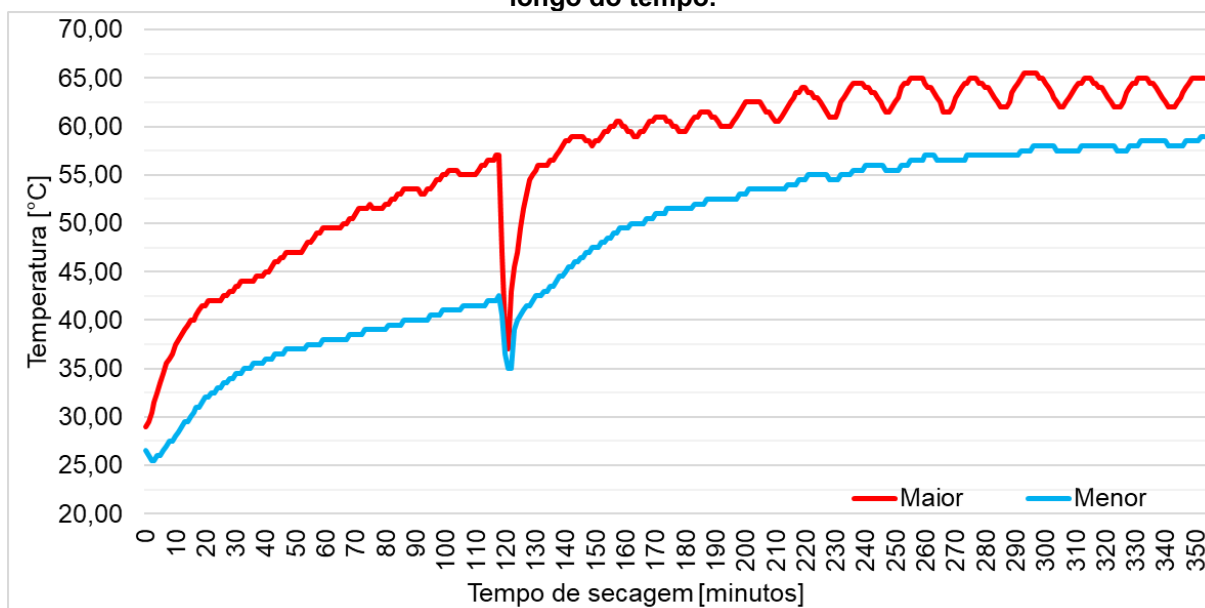
Dando sequência, serão analisados os gráficos referentes a bandeja 2.

Gráfico 14 - Amostra 2, bandeja 2: Temperaturas dos sensores 1, 2, 3, 4 e 5 (na legenda do gráfico, respectivamente, S1, S2, S3, S4 e S5) ao longo do tempo.



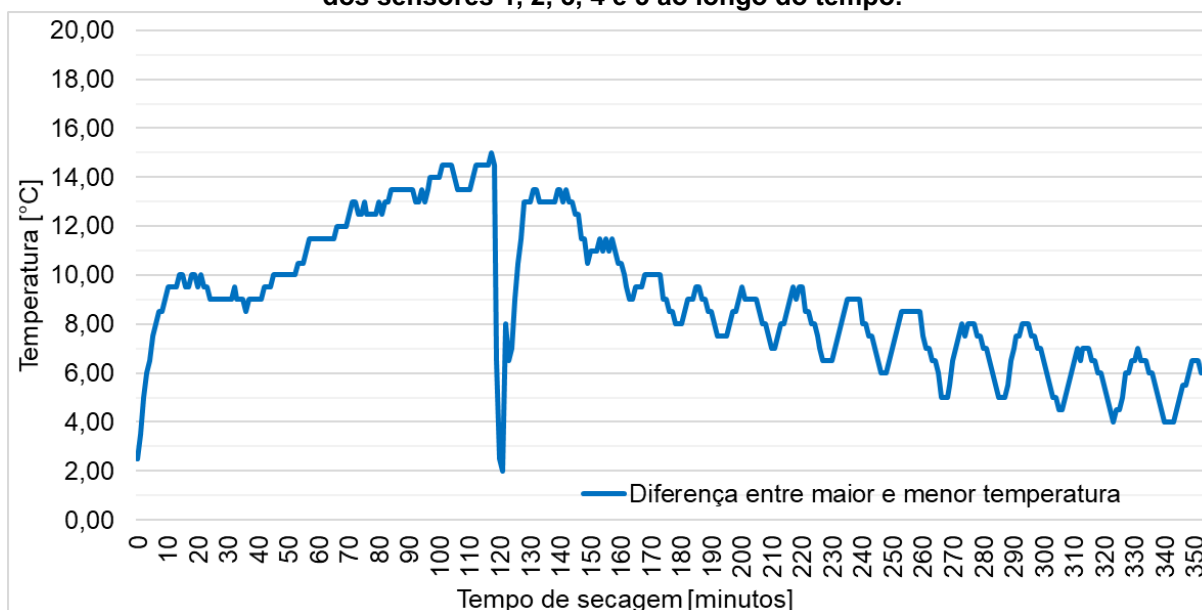
Fonte: próprio autor

Gráfico 15 - Amostra 2, bandeja 2: Maior e menor temperatura dos sensores 1, 2, 3, 4 e 5 ao longo do tempo.



Fonte: próprio autor

Gráfico 16 - Amostra 2, bandeja 2: Diferença de temperatura entre a maior e menor temperatura dos sensores 1, 2, 3, 4 e 5 ao longo do tempo.



Fonte: próprio autor

Ao analisar o gráfico 14, é possível verificar que, exceto o sensor 5 que apresentou a maior temperatura em toda a secagem, os sensores fugiram ao comportamento observado na primeira amostra, em que o sensor mais ao centro (sensor 3) apresentou as menores temperaturas e os das extremidades (sensor 1 e 5) as maiores.

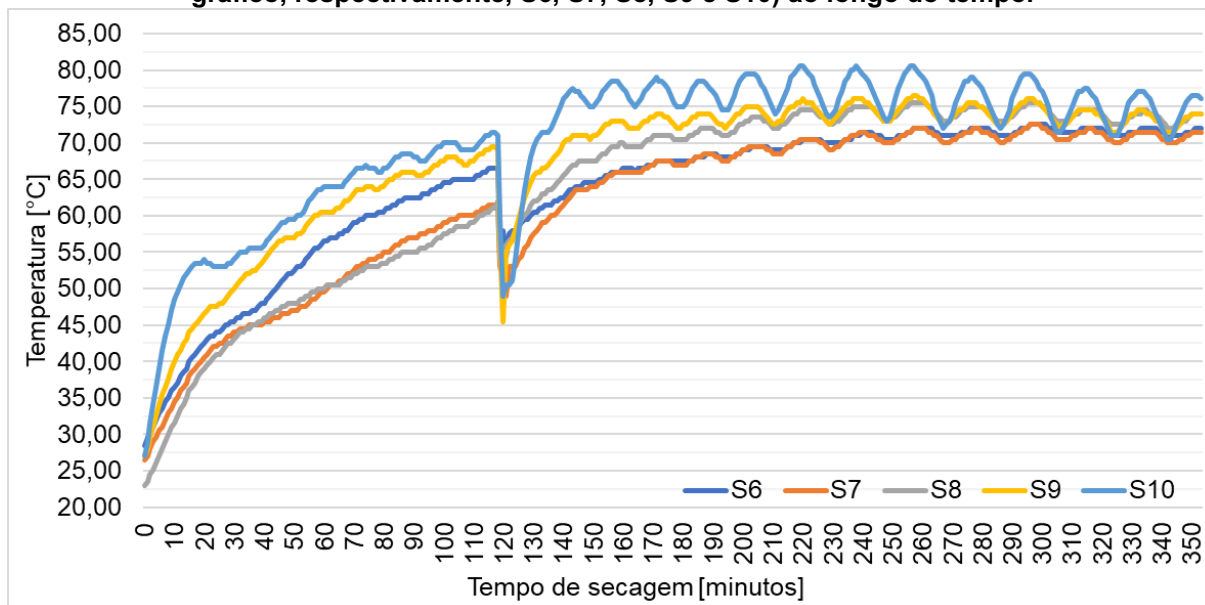
Na região de pré-homogeneização, de forma similar a secagem como um todo, a maior temperatura teve um rápido acréscimo até os 20 minutos saindo de 29,00°C e chegando a 41,50°C e continuou a aumentar de forma mais suave até alcançar 57,00°C com 118 minutos de secagem (gráfico 15). Fazendo com que essa região possua a maior diferença de temperatura da bandeja 2 15,00°C aos 117 minutos (gráfico 16).

O que mais chama a atenção na região de pós-homogeneização é o comportamento da maior e menor temperatura. Pelo gráfico 15 é possível verificar que, aos 220 minutos de secagem, a maior temperatura começa a oscilar entre 65,00°C e 61,50°C, enquanto que a menor temperatura segue aumentando até chegar a 59,00°C ao término da secagem.

Por consequência, a diferença entre a maior e menor temperatura diminui ao longo do processo, conforme indicado no gráfico 16, sendo que ao término da secagem tal diferença é de 6,00°C.

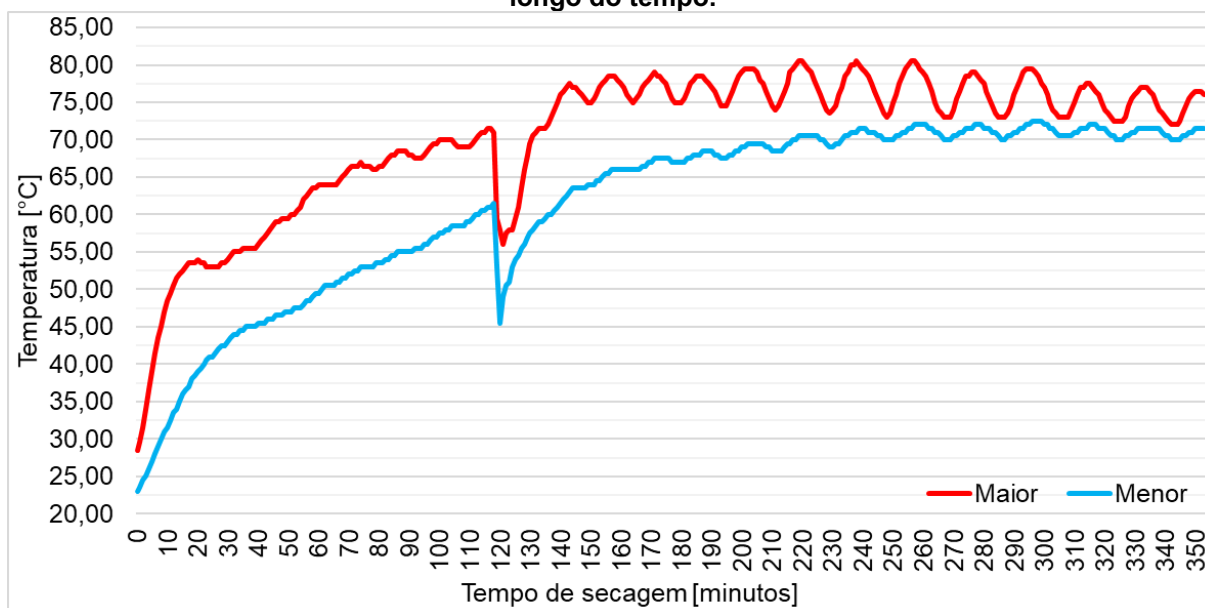
Por fim, serão realizadas as análises dos gráficos da bandeja 14.

Gráfico 17 - Amostra 2, bandeja 14: Temperaturas dos sensores 6, 7, 8, 9 e 10 (na legenda do gráfico, respectivamente, S6, S7, S8, S9 e S10) ao longo do tempo.



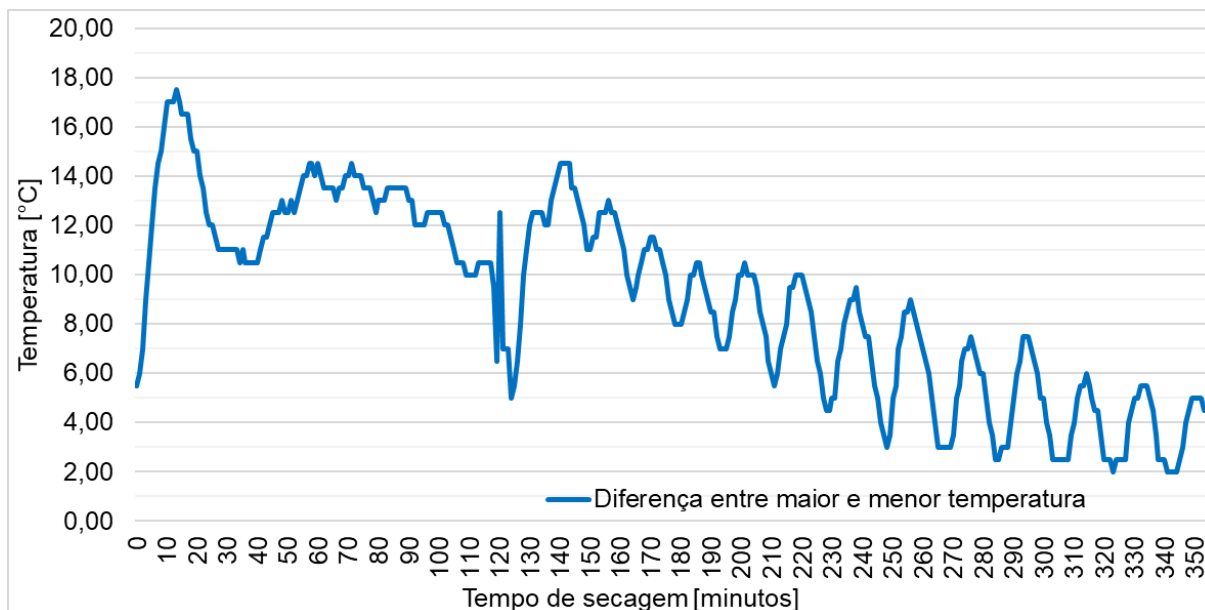
Fonte: próprio autor

Gráfico 18 - Amostra 2, bandeja 14: Maior e menor temperatura dos sensores 6, 7, 8, 9 e 10 ao longo do tempo.



Fonte: próprio autor

Gráfico 19 - Amostra 2, bandeja 14: Diferença de temperatura entre a maior e menor temperatura dos sensores 6, 7, 8, 9 e 10 ao longo do tempo.



Fonte: próprio autor

Diferentemente do constatado no gráfico 8 da primeira amostra, as temperaturas dos sensores mais externos do gráfico 17 da segunda amostra, na região da pré-homogeneização, não foram tão superiores quanto as demais. Pois, o sensor 6, localizado na extremidade esquerda (figura 7), marcou temperaturas inferiores ao sensor 9.

Outro fator que chama atenção nessa região é que a maior temperatura do gráfico 18 não se estabiliza após o rápido crescimento nos minutos iniciais, estando sempre aumentando, até chegar a 71,5°C com 117 minutos de secagem.

Além disso, a diferença entre a maior e a menor temperatura trazida no gráfico 19 ora aumenta ora cai, indicando que em alguns momentos o acréscimo da maior temperatura é superior ao da menor e em outros o inverso ocorre. A maior diferença ocorre justamente nos minutos iniciais em que se tem o rápido acréscimo de temperatura, chegando ao ápice aos 13 minutos com 17,50°C de diferença.

Na região de pós-homogeneização, o sensor da extrema direita continua a apresentar o comportamento esperado: registrar as maiores temperaturas. Em contrapartida, o sensor 6 da extrema esquerda passou a registrar uma das menores temperaturas da bandeja, o que não era esperado.

Dessa forma, ao analisar a bandeja 2 e a 14, é possível verificar que existe em ambas um comportamento muito semelhante entre as marcações. Os dois

sensores mais à direita marcaram as maiores temperaturas, enquanto que os mais à esquerda apresentaram as menores.

Isso demonstra que nessa amostra, além da diferença existente entre uma bandeja e outra, já abordada na amostra 1, há um desbalanceamento entre o lado esquerdo e o direito da estufa, em que o segundo recebe ar mais aquecido ou em maior quantidade.

Dessa forma, ocasiona-se um deslocamento da menor temperatura, deixando de estar no centro da bandeja, como constatado na amostra 1 e passando a se localizar no segundo sensor mais à esquerda de cada uma das bandejas (sensor 2 e sensor 7, das bandejas 2 e 14 respectivamente).

Outro ponto interessante é o fato de a menor temperatura do gráfico 18 ter aumentado até 234 minutos de secagem atingindo 70,50°C e após esse ponto ela começou a oscilar entre 71,00°C e 72,00°C indicando que, de forma similar a maior temperatura, que após os 219 minutos começa a oscilar entre 80,50°C e 72,50°C, ela chegou ao seu limite de aquecimento.

Esse comportamento é refletido no gráfico 19, em que a diferença está sempre decaindo, mas oscilando muito, de forma que ela chegou a ser de apenas 2,00°C com 323 minutos e depois novamente com 343 minutos, mas encerrou na casa de 4,50°C.

Novamente para facilitar o entendimento de tudo o que foi percorrido sobre a segunda amostra, foi elaborado um resumo com as informações mais relevantes na figura 12.

Figura 12 - Amostra 2: resumo dos dados obtidos por etapa da secagem.

		Secagem como um todo	Bandeja 2	Bandeja 14
Pré-homogeneização	Maior temperatura	71,50	57,00	71,50
	Menor temperatura	23,00	25,50	23,00
	Maior diferença	29,50	15,00	17,50
	Menor diferença	6,00	2,50	5,50
Homogeneização	Maior temperatura antes da homogeneização	71,00	57,00	71,00
	Maior temperatura depois da homogeneização	58,00	45,50	58,00
	Menor temperatura antes da homogeneização	42,50	42,50	61,50
	Menor temperatura depois da homogeneização	39,00	39,00	51,00
	Diferença antes da homogeneização	28,50	14,50	9,50
	Diferença após a homogeneização	19,00	6,50	7,00
Pós-homogeneização	Maior temperatura	80,50	65,50	80,50
	Menor temperatura	39,00	39,00	51,00
	Maior diferença	31,50	13,50	14,50
	Menor diferença	14,00	4,00	2,00

Fonte: próprio autor

Como na primeira amostra, também foi elaborado a figura 13 contendo os dados estáticos dos sensores da segunda amostra.

Figura 13 – Amostra 2: dados estáticos por sensor.

		Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3	Sensor 4	Sensor 5	Sensor 6	Sensor 7	Sensor 8	Sensor 9	Sensor 10
Pré-homogeneização	Média [°C]	41,68	36,46	43,02	40,97	47,63	53,21	48,83	47,88	56,86	60,25
	Máxima [°C]	51,00	42,50	52,50	51,00	57,00	66,50	61,50	62,00	69,50	71,50
	Mínima [°C]	28,50	25,50	29,00	29,00	29,00	28,50	26,50	23,00	27,00	27,00
	Desvio padrão [°C]	5,45	4,53	6,50	6,17	6,78	10,42	9,05	9,50	10,66	9,55
Pós-homogeneização	Média [°C]	56,55	53,83	55,77	59,04	61,83	69,13	68,60	71,92	72,97	75,64
	Máxima [°C]	60,50	59,00	60,00	63,00	65,50	72,50	72,50	75,50	76,50	80,50
	Mínima [°C]	45,50	39,00	42,50	45,00	43,50	58,00	53,00	57,00	56,50	51,00
	Desvio padrão [°C]	3,11	4,63	3,44	3,57	3,06	3,36	3,95	3,62	2,92	3,84

Fonte: próprio autor

Com base nos dados da figura 13, é possível observar que as análises feitas com base nos gráficos estavam corretas, de modo que os sensores da extrema direita (sensor 5 e sensor 10) apresentaram a maior média em suas bandejas (2 e 14, respectivamente).

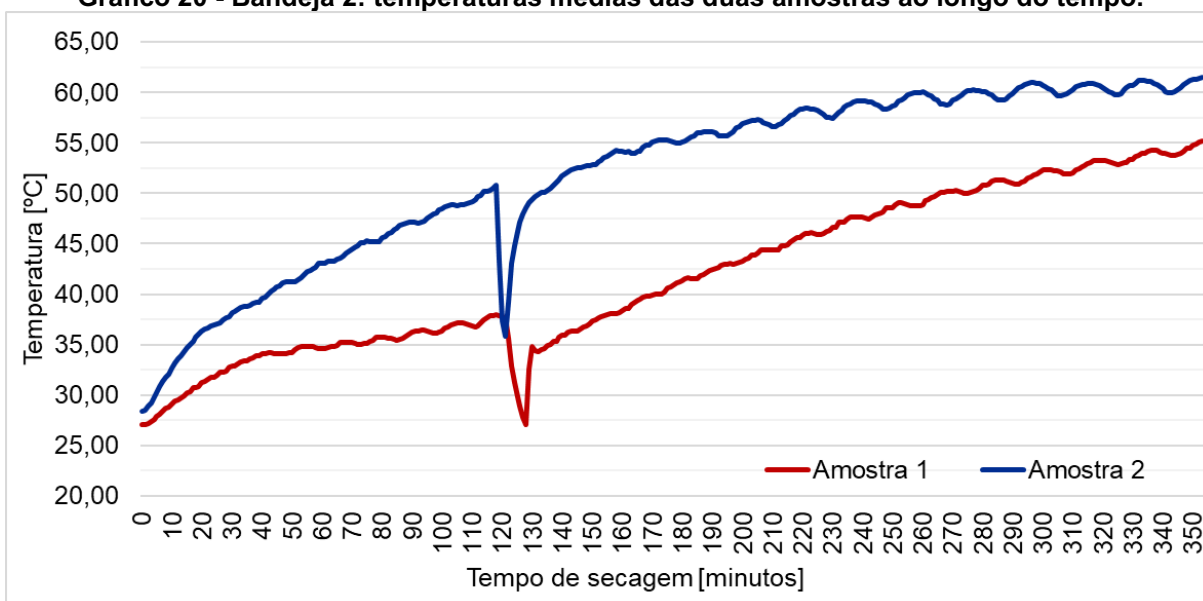
Também fica evidente o deslocamento da menor temperatura dentro de cada bandeja, do centro para mais próxima da extremidade esquerda, em decorrência da má distribuição do ar de aquecimento nos dois lados da estufa.

Outro ponto a se destacar é o desvio padrão em que todos os sensores, com exceção do sensor 2, apresentaram uma queda da região de pré-homogeneização para a pós-homogeneização, diferentemente do que ocorreu na primeira amostra. Esse era o comportamento esperado, ou seja, que a diferença de temperatura diminua no decorrer da secagem, demonstrando que houve uma estabilização térmica e o produto está seco.

6.3 COMPARAÇÃO ENTRE AS DUAS AMOSTRAS

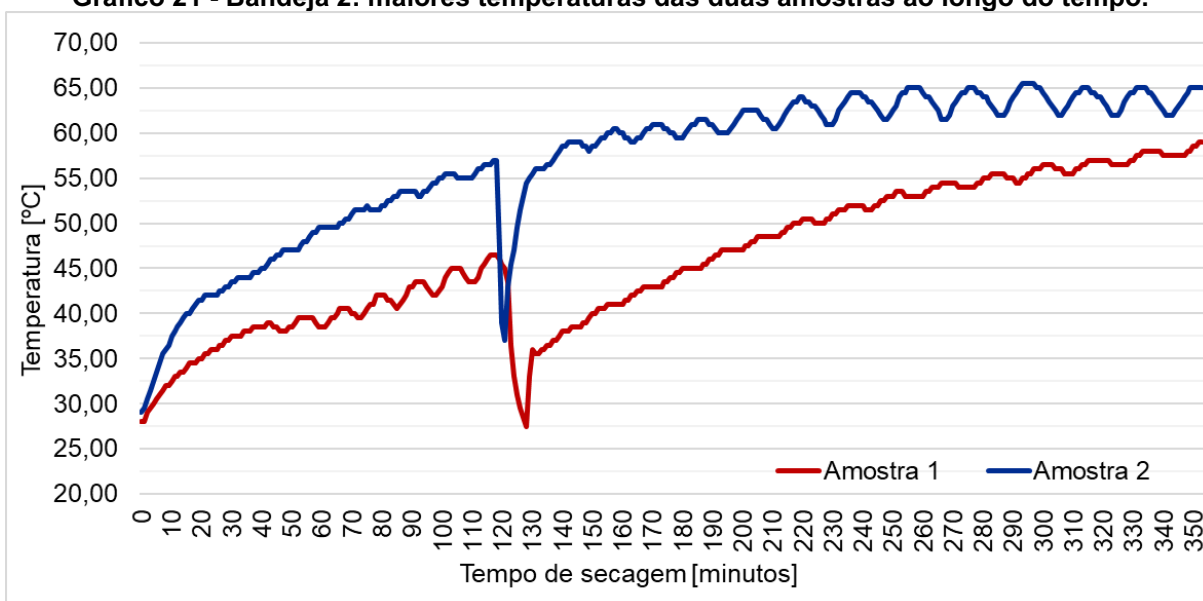
Conforme o organograma da figura 9, será abordado agora gráficos comparativos entre a mesma bandeja das duas amostras. O intuito é evidenciar as diferenças e semelhanças existentes entre elas. Primeiramente será abordado a bandeja 2.

Gráfico 20 - Bandeja 2: temperaturas médias das duas amostras ao longo do tempo.



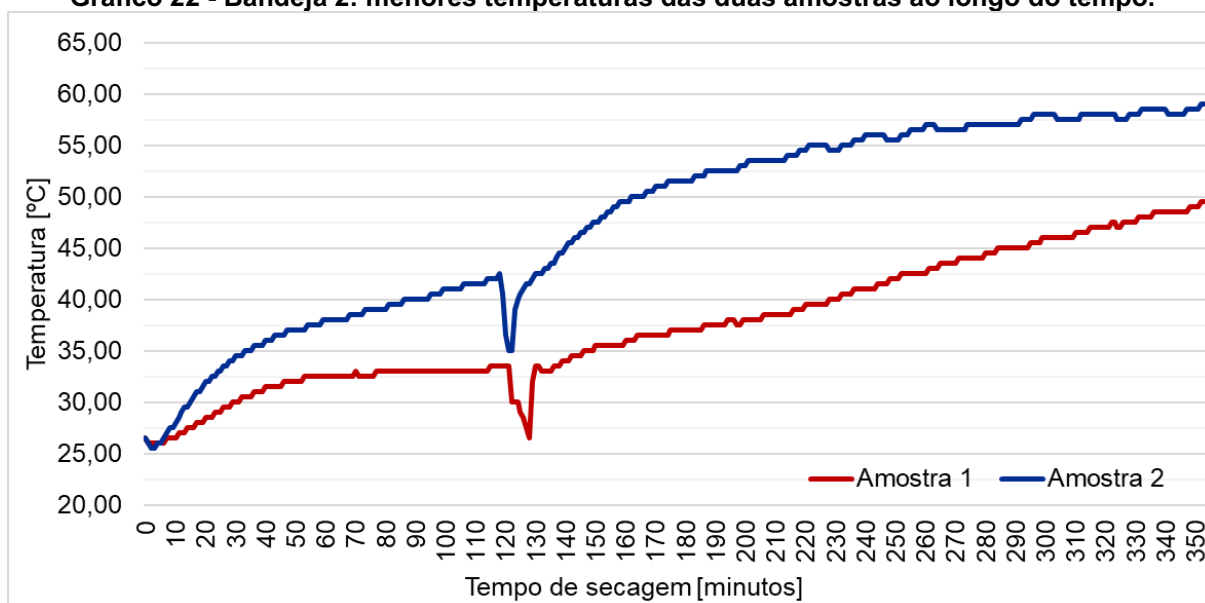
Fonte: próprio autor

Gráfico 21 - Bandeja 2: maiores temperaturas das duas amostras ao longo do tempo.



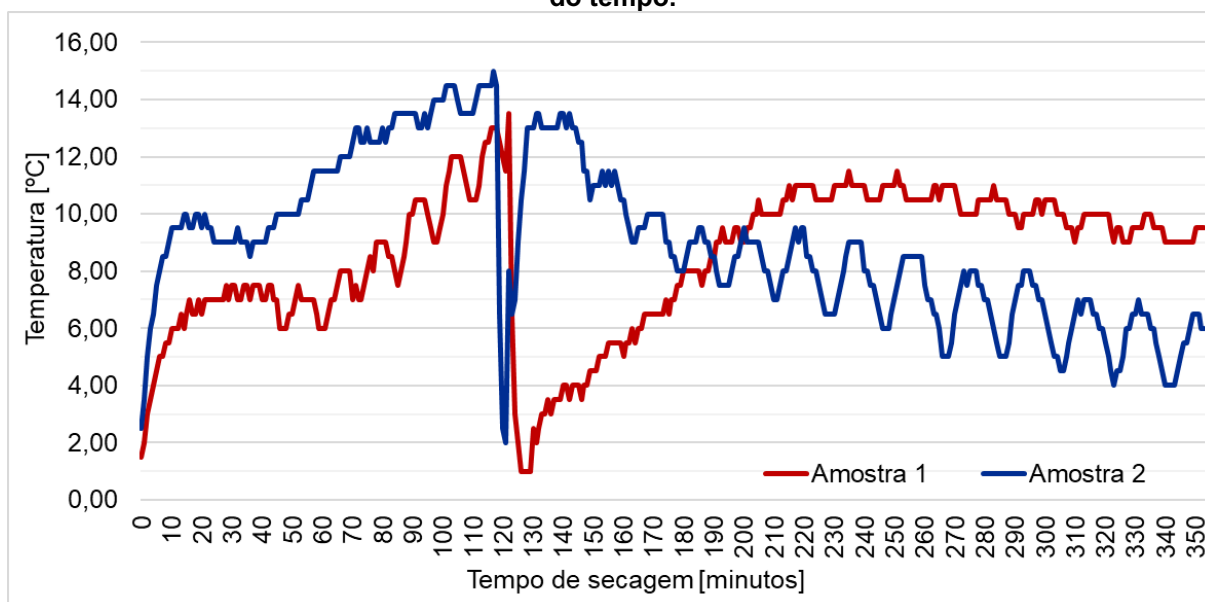
Fonte: próprio autor

Gráfico 22 - Bandeja 2: menores temperaturas das duas amostras ao longo do tempo.



Fonte: próprio autor

Gráfico 23 - Bandeja 2: diferença entre maior e menor temperatura das duas amostras ao longo do tempo.



Fonte: próprio autor

Em todos os gráficos, fica nítido que há uma grande diferença entre a bandeja 2 nas duas amostras, sendo a primeira amostra sempre com temperaturas médias inferiores à da segunda.

No gráfico 20 na pré-homogeneização, a maior diferença entre as temperaturas médias ocorre com 112 minutos de secagem, onde a amostra um

apresentou uma temperatura média de 36,80°C e a amostra 2 49,70°C, uma diferença de 12,90°C.

Após a homogeneização a diferença entre as médias volta a crescer, chegando ao seu ápice em 128 minutos com uma diferença de 21,50°C, sendo a primeira amostra marcando 27,10°C e a segunda 48,60°C.

Com o decorrer da secagem essa disparidade começa a diminuir encerrando em apenas 6,30°C, com a primeira amostra marcando 55,20°C e a segunda 61,50°C.

Esse comportamento nas médias pode ser melhor entendido ao se olhar para os gráficos 21, 22 e 23.

O gráfico 21 mostra que, enquanto a maior temperatura da segunda amostra oscila dentro de um intervalo de temperatura na região de pós-homogeneização, a da primeira apresenta um crescimento ao longo de toda a secagem.

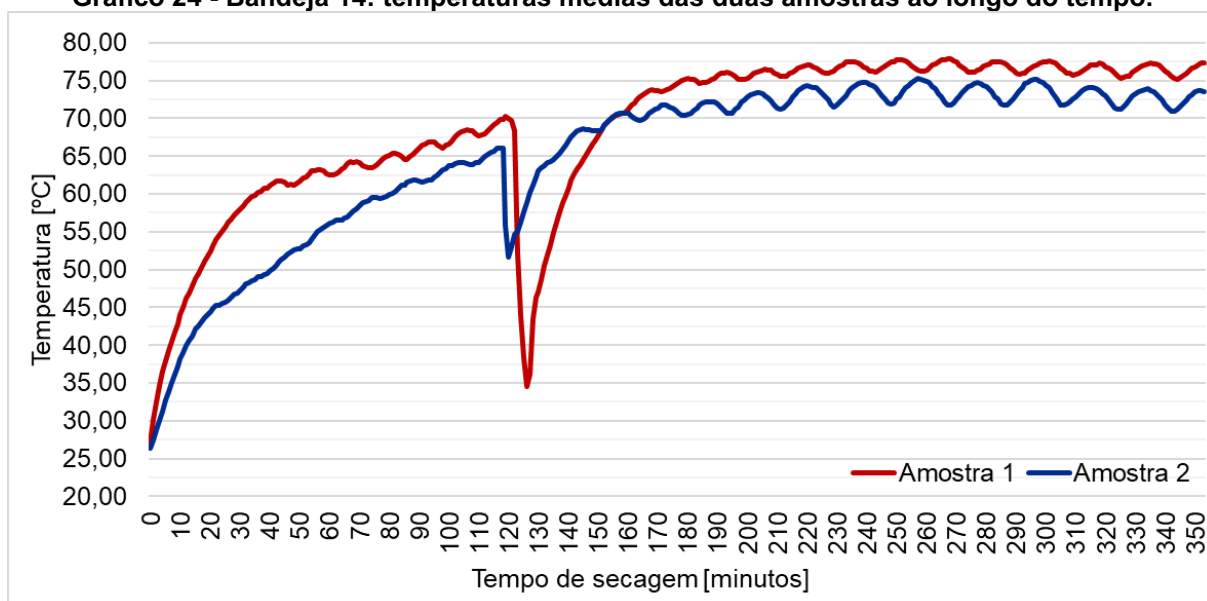
A menor temperatura em ambas as amostras apresentou um comportamento muito parecido, com um aumento ao longo de toda a secagem demonstrado pelo gráfico 22. A diferença entre uma amostra e outra logo após a homogeneização era de 9,0°C e ao término da secagem era de 9,50°C.

O comportamento da maior e menor temperatura dos dois gráficos explica o porquê de as médias terem se aproximado uma da outra no término da secagem. Apesar disso parecer positivo, o comportamento da primeira amostra não é necessariamente o mais ideal durante a secagem.

O motivo para isso está no gráfico 23, em que é possível ver que enquanto a diferença entre a maior e menor temperatura da primeira amostra aumentou a da segunda diminuiu, que é o que se gostaria dentro de uma mesma bandeja, quanto menor a diferença entre as temperaturas, mais uniforme é a secagem e, portanto, maior é a qualidade do produto.

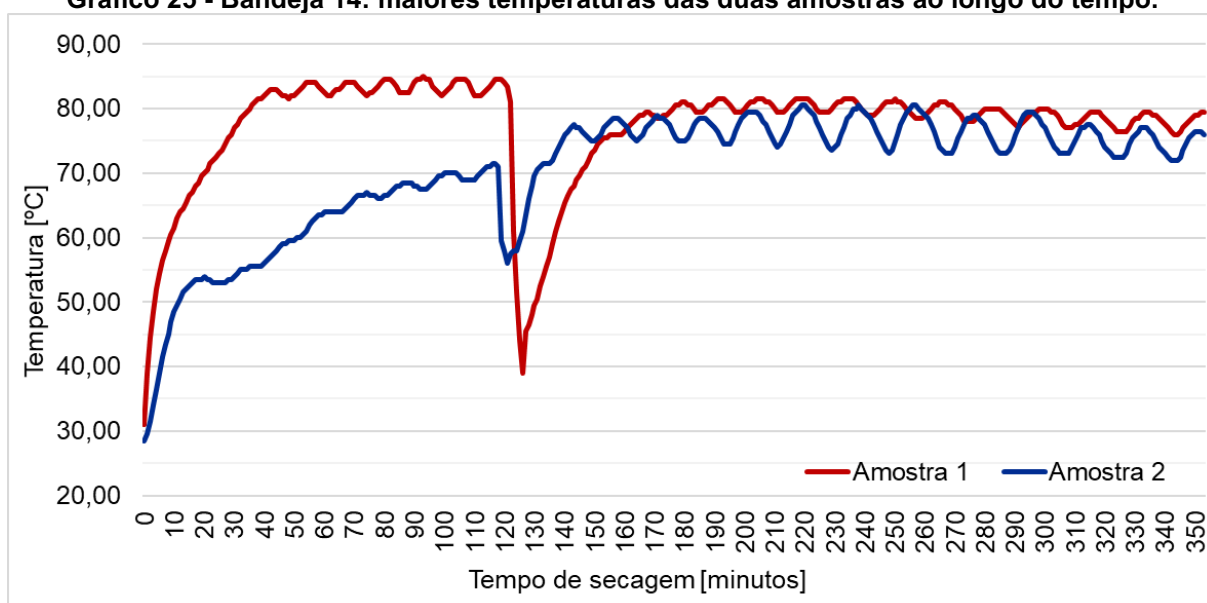
Dando sequência a comparação, será abordado agora os gráficos da bandeja 14.

Gráfico 24 - Bandeja 14: temperaturas médias das duas amostras ao longo do tempo.



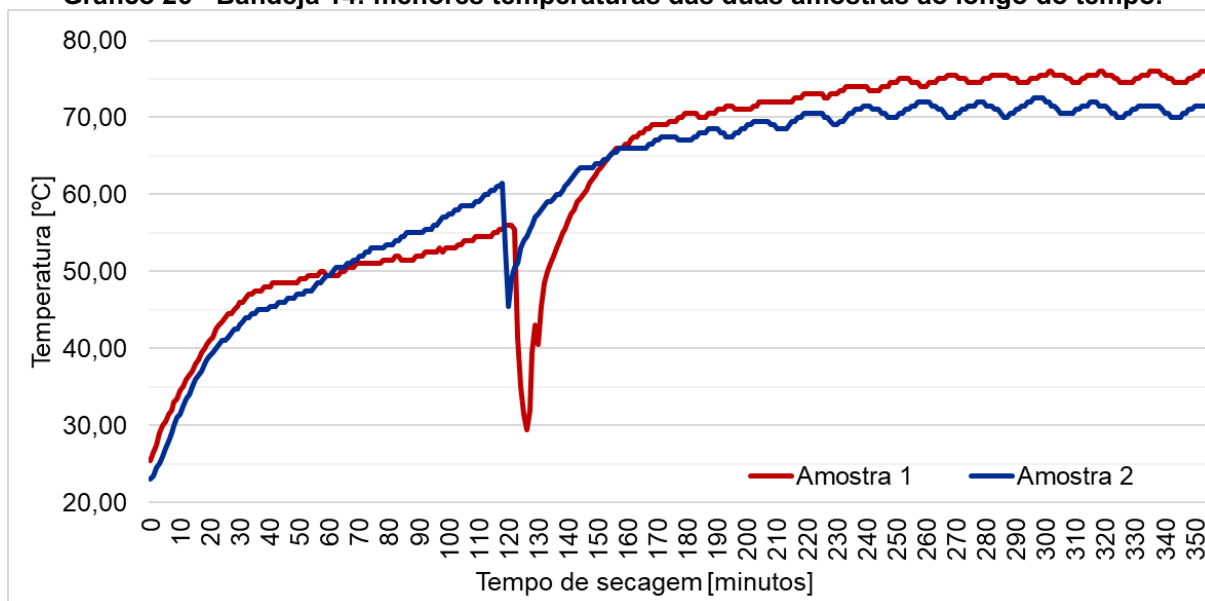
Fonte: próprio autor

Gráfico 25 - Bandeja 14: maiores temperaturas das duas amostras ao longo do tempo.



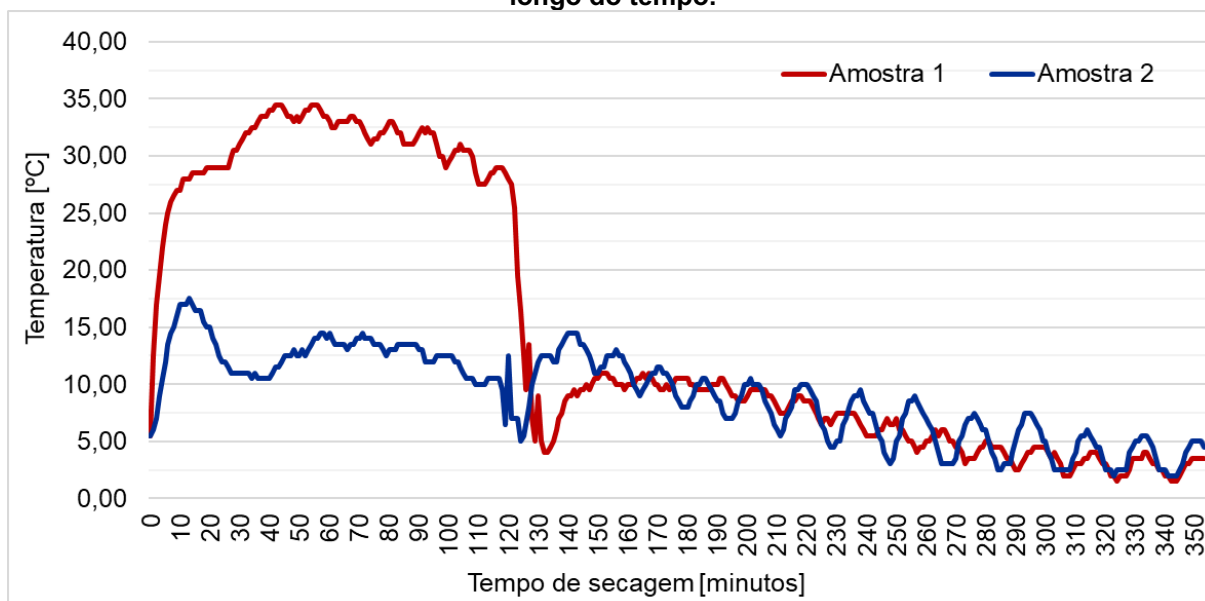
Fonte: próprio autor

Gráfico 26 - Bandeja 14: menores temperaturas das duas amostras ao longo do tempo.



Fonte: próprio autor

Gráfico 27 - Bandeja 14: diferença entre maior e menor temperatura das duas amostras ao longo do tempo.



Fonte: próprio autor

O primeiro detalhe que chama a atenção nos gráficos da bandeja 14, é o fato de as médias da amostra 1 estarem superiores à da amostra 2, uma inversão do visualizado na bandeja 2. Demonstrando que na primeira amostra há uma diferença maior entre as bandejas do que a da segunda.

Com relação ao gráfico 24, é possível ver que a região de pré-homogeneização é a que apresenta a maior diferença entre as médias, sendo que a

maior diferença entre elas foi aos 38 minutos onde a amostra 1 marcava 60,80°C e a amostra 2 marcava 49,30°C, uma diferença de 11,50°C.

Tal disparidade se dá principalmente pelo comportamento da maior temperatura da primeira amostra que, conforme o gráfico 25, apresentou um grande crescimento nos primeiros minutos, chegando a marcar 84,00°C em 54 minutos e oscilou sempre próxima a esse valor.

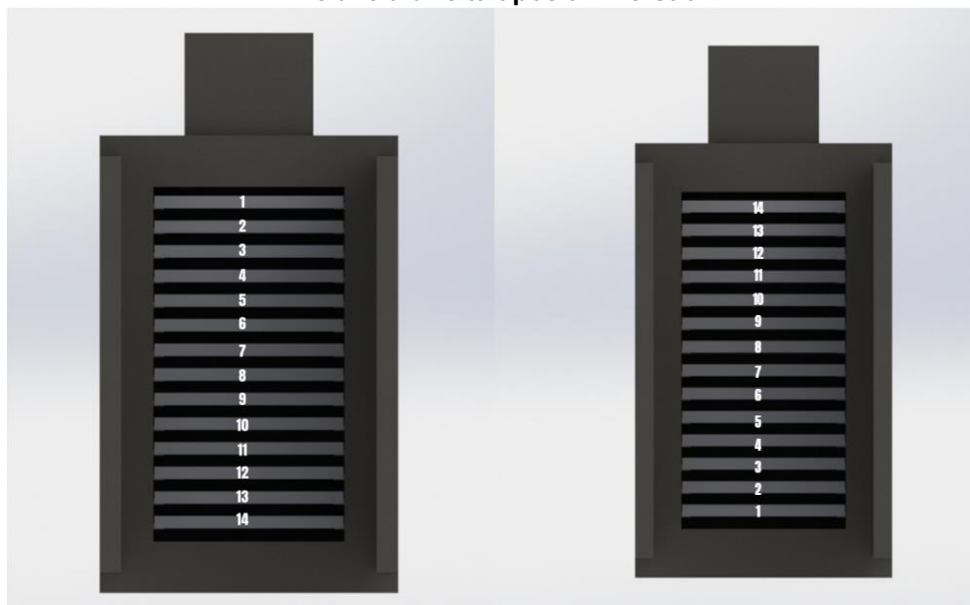
Ao se olhar para a região de pós-homogeneização, é possível ver que não há muita diferença entre as duas amostras em nenhum dos gráficos. Ao comparar a situação de ambas ao término da secagem, tem-se que as médias eram: 77,30°C da primeira e 73,50°C da segunda; a maior temperatura: 79,50°C e 76,0°C, respectivamente da amostra 1 e 2; a menor temperatura: 76,00°C e 71,50°C, amostra 1 e 2, respectivamente; diferença entre a maior e menor temperatura: 3,50°C e 4,50°C, respectivamente primeira e segunda amostra.

6.4 MELHORIAS PROPOSTAS

Após as análises realizadas pensou-se em algumas formas de melhorar a secagem do produto e diminuir as diferenças entre as bandejas e entre duas amostras distintas.

A primeira sugestão e a mais simples de ser realizada é a inversão das bandejas duas horas após a homogeneização, invertendo sempre a superior com a inferior, conforme ilustrado na figura 14.

Figura 14 - Inversão das bandejas duas horas após a homogeneização, a esquerda a ordem inicial e a direita após a inversão.



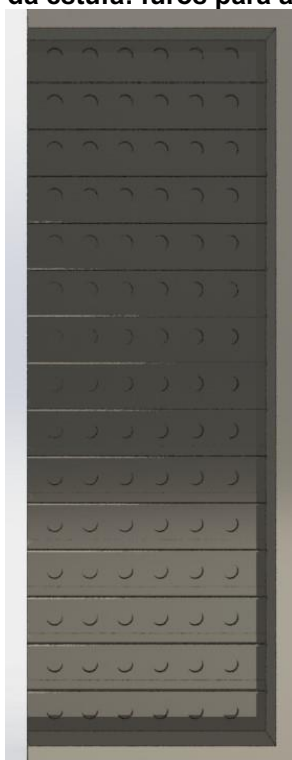
Fonte: próprio autor

Outra maneira simples de tentar diminuir as diferenças entre uma mesma amostra é utilizar apenas as bandejas inferiores. Do ponto de vista econômico não é o ideal, pois não utiliza a capacidade total da estufa, porém isso resultaria em um produto mais uniforme ao final da secagem.

Uma outra alternativa, um pouco mais difícil de ser implementada, mas que possibilitaria a utilização de toda a estufa e não seria necessário realizar a inversão das bandejas, é a melhor distribuição do ar de aquecimento na entrada da estufa.

Existem algumas formas de realizar isso, entre elas a que seria mais simples de se executar e não necessitaria um grande investimento é ajustar o tamanho dos furos de entrada de ar.

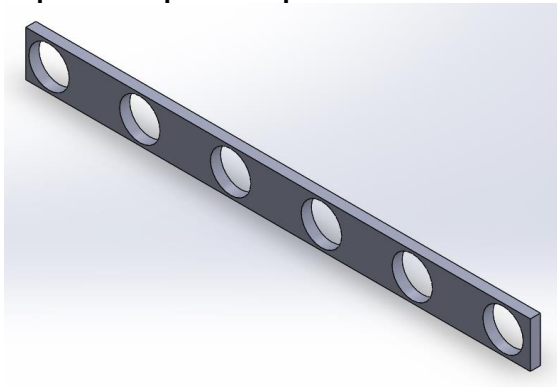
Figura 15 - Corte lateral da estufa: furos para a entrada de ar na estufa.



Fonte: próprio autor

Para isso, sugere-se o seguinte: posicionar ao menos um sensor na entrada de ar em cada uma das bandejas e com a estufa vazia realizar a medição da temperatura do ar de aquecimento. Com base nos dados obtidos ir diminuindo os furos que apresentarem as maiores temperaturas, até que se obtenha uma temperatura mais homogênea nas entradas, utilizando para isso uma chapa furada com os diâmetros desejados, conforme figura 16.

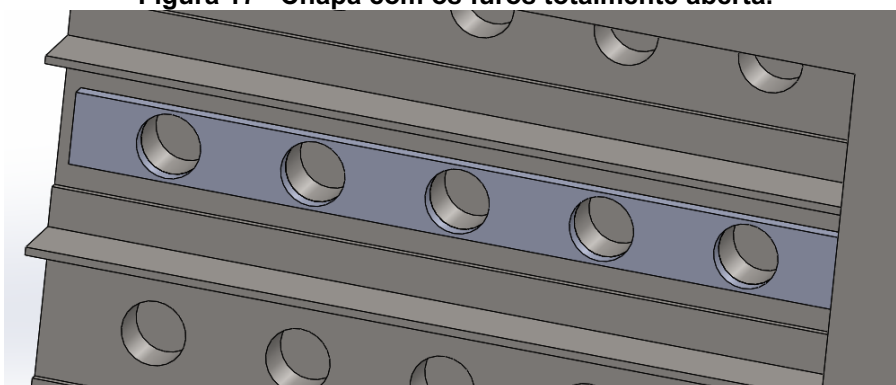
Figura 16 - Chapa furada para adequar o diâmetro das entradas de ar.



Fonte: próprio autor

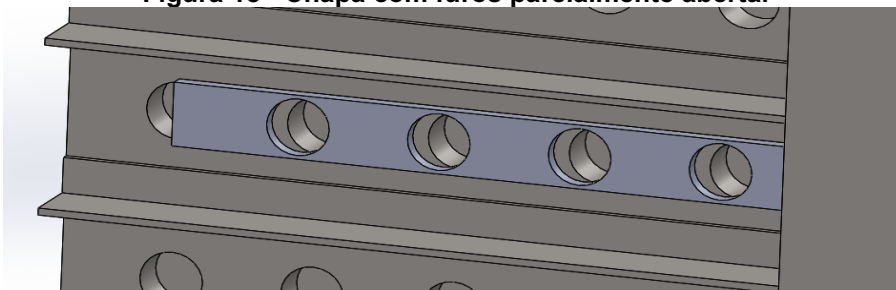
Uma forma mais efetiva de se realizar o proposto acima, porém mais custosa, é a melhoria no sistema de controle da estufa. Para isso seria necessário colocar um sensor em cada uma das saídas de ar aquecido e um motor para a movimentação da chapa com os furos em cada uma das bandejas conectadas a um mesmo controlador. Dessa forma, é possível programar a estufa para que a diferença de temperatura entre a maior e menor bandeja seja sempre muito pequena.

Figura 17 - Chapa com os furos totalmente aberta.



Fonte: próprio autor

Figura 18 - Chapa com furos parcialmente aberta.



Fonte: próprio autor

7 CONCLUSÃO

Com base nos gráficos individuais de cada amostra, foi possível verificar que o conhecimento prévio da empresa se mostrou verdadeiro: a bandeja 2 apresenta temperatura inferior a bandeja 14. Mais do que isso, ficou evidente que a diferença é muito grande, chegando a 50,00°C entre a maior e menor temperatura na primeira amostra e 31,50°C na segunda.

A análise realizada em cada uma das bandejas demonstrou que ao término da secagem a bandeja de maior temperatura já havia chegado ao seu limite de secagem e a de menor ainda não.

Ao se comparar as duas amostras, constatou-se que as bandejas de menor temperatura apresentavam as maiores diferenças entre si ao término da secagem, enquanto que as de maior, após a homogeneização, estavam sempre muito próximas.

Também foi levantado duas hipóteses sobre o porquê de as amostras apresentarem diferenças entre si e entre suas bandejas, que no fundo se resumem a um fator comum: má distribuição do ar de aquecimento na entrada da estufa.

Por fim foram apresentadas algumas formas de solucionar o problema identificado como a inversão das bandejas e a melhoria do sistema de distribuição do ar de aquecimento.

Assim, é possível concluir que o trabalho cumpriu com os objetivos propostos, uma vez que foi possível testar os sensores previamente a sua utilização e os dados puderam ser coletados sem grandes dificuldades e sem prejuízos a nenhuma das marcações. Além disso, os dados permitiram avaliar o processo de secagem do início ao fim, comprovando os conhecimentos prévios e expondo os problemas do equipamento e do processo, possibilitando sugestões de melhorias.

REFERÊNCIAS

- Abiquifi** – Associação Brasileira da Indústria Farmoquímica e de Insumos Farmacêuticos. Mercado. [s.d.]. Disponível em: <<https://www.abiquifi.org.br/mercado>>. Acesso em: 23 Mar. 2021.
- Arduino** – *About*. 05 de fevereiro de 2018. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Acesso em: 02 Abr. 2021.
- BOLFARINE, H., WILTON, O.B. **Elementos de amostragem**. 1ª ed. São Paulo: Blucher, 2005.
- LAMB, F. **Automação industrial na prática**. Porto Alegre, AMGH, 2015. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580555141/>>. Acesso em: 22 Mar 2021
- MICHELS, R.N. et. al **Importância da automação e da estatística no processo de compostagem**. Compostagem e vermicompostagem de resíduos sólidos: resultados de pesquisas acadêmicas. Blucher [livro eletrônico], p. 241-254, 2017.
- MICHELS, R.N. et. al **Sistema Opensource de baixo custo para checagem de dados em tempo real aplicado à compostagem**. Seminário de Extensão e Inovação – UTFPR, 10 ed., Toledo, 2020.
- MITIDIERI, Thiago Leone et al. **Há espaços competitivos para a indústria farmoquímica brasileira?: reflexões e propostas para políticas públicas**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.41, p. [43] - 78, mar. 2015.
- MUJUMDAR, A.S. et al. **Handbook of Industrial Drying**. 3 ed. Flórida: CRC Press, 2006.
- RIBEIRO JUNIOR. Elson Heraldo; PENTEADO, Rosangela de Fatima Stankowitz. **Modelo para formatação de trabalhos acadêmicos da UTFPR**. Ponta Grossa, 2011. (Apostila).
- SOUSA, M. M., DRUMOND, L. C. D., NALDI, M. C. **Sistema computacional para aquisição automática e disponibilização de dados meteorológicos**. Engenharia Agrícola, v. 35, n. 3, p. 606-612, 2015.