



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

Estudo da Secagem Industrial de Proteína Texturizada de Soja

Aline Fronza

Trabalho de Conclusão apresentado como
requisito parcial para a obtenção do grau de
Engenheiro Químico

Orientador:
Prof^a. Dr^a. Lígia Damasceno Ferreira Marczak

Co-orientador:
Eng^a. Ana Beatriz Baroni Schütz

Porto Alegre
2007

AGRADECIMENTOS

À Prof^a. Dr^a. Lúgia Damasceno Ferreira Marczak pela orientação, sugestões e atenção dispensada.

À Solae do Brasil Ind. e Com. de Alimentos Ltda, por me proporcionar esta oportunidade, na qual tive a oportunidade de aplicar os conhecimentos adquiridos durante a graduação.

À engenheira Ana Beatriz Schutz pela co-orientação, sugestões, incentivo e pela confiança em mim depositada durante todo o período de desenvolvimento do trabalho.

Às pessoas que fazem parte da equipe de operação da planta de proteína texturizada pelos ensinamentos e colaboração no desenvolvimento de meu trabalho.

Às minhas colegas de estágio pela amizade e por todos os momentos e conhecimentos compartilhados.

Às minhas amigas por todo o companheirismo, pelas horas de estudo, pelas festas, por todo carinho, pelo incentivo nas horas difíceis enfim, por todos os momentos bons que compartilhamos.

Em especial à minha família pela enorme dedicação e apoio incondicional em todos os momentos, por estarem sempre ao meu lado apoiando minhas decisões.

À todos que contribuíram direta ou indiretamente neste trabalho.

Muito Obrigada!

RESUMO

A umidade é uma característica extremamente importante nos alimentos, sendo em muitos casos um indicador da qualidade do produto, por isso a importância da secagem no caso das proteínas texturizadas. Para elucidar a compreensão dos objetivos e conclusões do trabalho, foi realizada uma revisão bibliográfica e fundamentação teórica que engloba os princípios e metodologia da tecnologia da extrusão da proteína texturizada de soja, umidade e atividade de água nos alimentos e importância da secagem.

Neste trabalho foram analisados os teores de umidade de amostras com morfologia 1 e 3; pode-se concluir que a amostra de morfologia 3 apresenta teor de umidade aproximadamente 50% maior que o teor de umidade da amostra de morfologia 1.

Também foi avaliada a homogeneidade de secagem do secador industrial de PTS em dois testes. A homogeneidade foi avaliada através do teor de umidade das amostras de seis pontos distintos, altura Inferior (Direita, Meio, Esquerda) altura Superior (Direita, Meio, Esquerda). As alturas Inferior e Superior do secador não apresentam teor de umidade homogêneo, tanto no primeiro quanto no segundo teste. A posição Direita apresenta teor de umidade homogêneo para o primeiro e segundo testes. A posição Meio não apresenta teor de umidade homogêneo para o primeiro e segundo testes. A posição Esquerda apresenta teor de umidade homogêneo para o primeiro e segundo testes, pois não há diferença significativa entre as médias dos teores de umidade da altura Superior e Inferior.

SUMÁRIO

RESUMO	III
LISTA DE FIGURAS	V
LISTA DE TABELAS	VI
1. INTRODUÇÃO	1
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1 PROTEÍNA TEXTURIZADA DE SOJA	2
2.1.1 <i>Introdução</i>	2
2.1.2 <i>Princípios e Metodologia da Tecnologia da Extrusão de PTS</i>	3
2.2 UMIDADE	5
2.3 ATIVIDADE DE ÁGUA	6
2.4 SECAGEM DE ALIMENTO	6
2.5 TAXA DE SECAGEM	7
2.6 CLASSIFICAÇÃO DE SECADORES	10
2.6.1 <i>Secador tipo túnel</i>	11
3. MATERIAIS E MÉTODOS	14
3.1 MATÉRIA-PRIMA E LOCAL DA REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS	14
3.2 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	14
3.2.1 <i>Secador tipo túnel</i>	14
3.2.2 <i>Moinho de facas</i>	15
3.2.3 <i>METTLER TOLEDO HB43 analisador de umidade</i>	15
3.3 MÉTODOS	17
3.3.1 <i>Método de análise de morfologia</i>	17
3.3.2 <i>Método de determinação do teor de umidade</i>	19
3.4 PROCEDIMENTOS REALIZADOS	20
3.4.1 <i>Determinação do teor de umidade de PTS para morfologia distinta</i>	20
3.4.2 <i>Determinação da homogeneidade de secagem de PTS</i>	20
3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DE PTS PARA MORFOLOGIA DISTINTA	24
4.2 DETERMINAÇÃO DA HOMOGENEIDADE DE SECAGEM DE PTS	26
4.2.1 <i>Primeiro teste</i>	26
4.2.2 <i>Segundo teste</i>	30
5. CONCLUSÕES	35
REFERÊNCIAS	37
APÊNDICE A	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Diagrama de fluxo típico para produção de proteína de soja texturizada.....	3
Figura 2.2: Exemplo de curva de secagem	8
Figura 2.3: Diagrama da migração de água no interior de um sólido.....	10
Figura 2.4: Secador tipo túnel	12
Figura 3.1: Esquema do secador tipo túnel	15
Figura 3.2: METTLER TOLEDO HB43 analisador de umidade	16
Figura 3.3: Curvas características dos programas de secagem	17
Figura 3.4: Classificação morfológica.....	19
Figura 3.5: Amostra com peças moídas de PTS	20
Figura 3.6: Pontos de coleta de amostra no secador	21
Figura 4.1: Teor de umidade médio das amostras de morfologia 1 e 3	25
Figura 4.2: Média do teor de umidade para cada ponto distinto – primeiro teste.....	29
Figura 4.3: Média do teor de umidade para cada ponto distinto – segundo teste.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Características do METTLER TOLEDO analisador de umidade.....	16
Tabela 3.2: Fórmulas utilizadas para análise ANOVA.....	22
Tabela 3.3: Tabela ANOVA para dois fatores.....	23
Tabela 4.1: Resultados da análise do teor de umidade para PTS com morfologia 1 e 3.....	24
Tabela 4.2: Resumo da análise ANOVA.....	25
Tabela 4.3: Teor de umidade médio para seis pontos distintos de amostragem – primeiro teste.....	26
Tabela 4.4: Níveis das variáveis utilizadas – primeiro teste.....	27
Tabela 4.5: Teor de umidade médio dos experimentos para cada nível – primeiro teste.....	27
Tabela 4.6: ANOVA para projetos de 2 fatores – primeiro teste.....	27
Tabela 4.7: Resultado do cálculo do limite de decisão – primeiro teste.....	27
Tabela 4.8: Teor de umidade médio dos experimentos para cada nível em ordem crescente – primeiro teste.....	28
Tabela 4.9: Resultados da análise de comparação das médias para variável altura da camada de produto – primeiro teste.....	28
Tabela 4.10: Resultados da análise de comparação das médias para a variável posição do secador – primeiro teste.....	29
Tabela 4.11: Teor de umidade médio para seis pontos distintos de amostragem – segundo teste.....	30
Tabela 4.12: Níveis das variáveis utilizadas – segundo teste.....	30
Tabela 4.13: Teor de umidade médio dos experimentos para cada nível – segundo teste.....	31
Tabela 4.14: ANOVA para projetos de 2 fatores – segundo teste.....	31
Tabela 4.15: Resultado do cálculo do limite de decisão – segundo teste.....	31
Tabela 4.16: Teor de umidade médio dos experimentos para cada nível em ordem crescente – segundo teste.....	32
Tabela 4.17: Resultados da análise de comparação das médias para a variável altura da camada de produto – segundo teste.....	32
Tabela 4.18: Resultados da análise de comparação das médias para a variável posição do secador – segundo teste.....	33

1. INTRODUÇÃO

A soja é um dos alimentos de maior concentração protéica, e neste contexto surge a produção de ingredientes e derivados protéicos a partir do grão de soja. Um destes produtos é a proteína texturizada de soja (PTS) que é obtida através de um processo de extrusão aplicado a um material termoplástico fazendo com que se formem estruturas fibrosas mastigáveis com textura semelhante à da carne (GIESE, 1994 *apud* CASSINI, 2004). Este processo é possível por que as proteínas de soja apresentam capacidade de texturização.

As principais características da PTS são o alto teor protéico e as características funcionais que favorecem a utilização da mesma como ingrediente e coadjuvante nos mais variados produtos, principalmente os cárneos.

As principais funções que a PTS pode exercer nos alimentos são a de agregar água e aumentar a quantidade de proteína no produto final, além de substituir uma parte da carne em produtos embutidos, formatados ou a base de carne moída, mantendo o teor de proteína destes. As principais propriedades funcionais da PTS são as propriedades de hidratação, retenção de água e gordura, fixação de sabores e aromas e capacidade de formação de fibras. A hidratação e a retenção de água por ingredientes protéicos têm um papel fundamental na qualidade da textura de diversos alimentos: a absorção de água produz expansão no produto, conferindo características de consistência, viscosidade e aderência.

A maioria das PTS são produzidas usando a tecnologia da extrusão e é nesta etapa que ocorrem as transformações necessárias para a texturização do produto. Após a extrusão o produto passa por um processo de secagem, o qual visa remover parte da umidade do produto para fins de conservação e comercialização.

Neste contexto está inserida a proposta deste trabalho que tem como objetivo o estudo da secagem industrial de PTS, através da avaliação de homogeneidade de secagem do produto. A homogeneidade é avaliada com base nos resultados de análises do teor de umidade da PTS, considerando seis pontos de amostragem no secador industrial.

Outro objetivo é a análise da influência da morfologia da PTS sobre o teor de umidade, com a finalidade de avaliar a representatividade da amostra para análise do teor de umidade do lote, em função da variabilidade da morfologia do produto. Nesta análise é utilizado apenas um ponto de amostragem e então esta amostra é segregada de acordo com suas características morfológicas para posterior análise do teor de umidade utilizando o método de radiação halógena.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Proteína Texturizada de Soja

2.1.1 Introdução

A soja (*Glycine max*) é uma leguminosa oleaginosa com destaque no conteúdo protéico, não apenas na quantidade de proteína nos grãos, mas também em sua qualidade.

O uso da soja como alimento constata avanços significativos não só pelas suas propriedades nutricionais, mas também pela importância dessa leguminosa como alimento funcional, consolidando estudos recentes que comprovam os benefícios à saúde.

Por ser uma leguminosa com alta concentração protéica, vem sendo usada na produção de ingredientes e derivados protéicos. Um destes produtos é a PTS que, além de apresentar um alto teor protéico, possui características funcionais que favorecem a utilização da mesma como ingrediente e coadjuvante nos mais variados produtos, principalmente os cárneos.

A PTS é um ingrediente fundamental, pois é utilizado como coadjuvante na redução de custo e melhoria de textura ou elevação de valor protéico e qualidade nutricional do produto final. A soja deve ser incluída na alimentação não somente pelas possíveis vantagens que ela pode nos trazer, mas principalmente, pelo fato de ser mais uma opção de alimento rico em diversos nutrientes e que contribuirá para a diversificação da alimentação diária contribuindo, do ponto de vista nutricional, para a saúde.

PTS é um produto protéico dotado de integridade estrutural identificável, de modo que cada unidade suporte hidratação e cozimento. É obtida através do processo de extrusão termoplástica, a partir de fonte protéica comestível, podendo incluir, além da farinha desengordurada de soja, proteína isolada de soja e/ou proteína concentrada de soja, com ou sem a adição de ingredientes nutricionais ou com propósitos tecnológicos.

A PTS apresenta estrutura interna em forma de fibra e externamente, pode ter a forma de grânulos graúdos (chunks), grânulos menores, flocos ou outra forma que seja mais adequada ao seu uso final.

2.1.2 Princípios e Metodologia da Tecnologia da Extrusão de PTS

As proteínas texturizadas podem ser produzidas a partir de diversas especificações de matérias-primas, controlando características funcionais como a densidade, relação e tempo de hidratação, forma, aspecto do produto, odor e sabor (HAYAKAWA *et al*, 1998).

Um processo típico para produzir PTS é mostrado na Figura 2.1. A maioria das proteínas vegetais texturizadas é produzida usando a tecnologia da extrusão. Inicialmente as matérias-primas são colocadas nos silos e então seguem para uma balança que possui células de carga. Assim, a medição de massa é direta, ou seja, a quantidade material alimentado ao processo é obtida pela diferença de peso na balança. Essa alimentação apresenta um sistema de controle de forma que dependendo da vazão de alimentação desejada a rosca de alimentação, localizada na saída da balança, irá apresentar movimento de rotação maior ou menor.

Da balança o material segue para o misturador (blender), onde ocorre a homogeneização das matérias-primas. Na seqüência, haverá o Surge Bin e um separador magnético após, o Live Bin que alimenta o pré-condicionador de maneira uniforme.

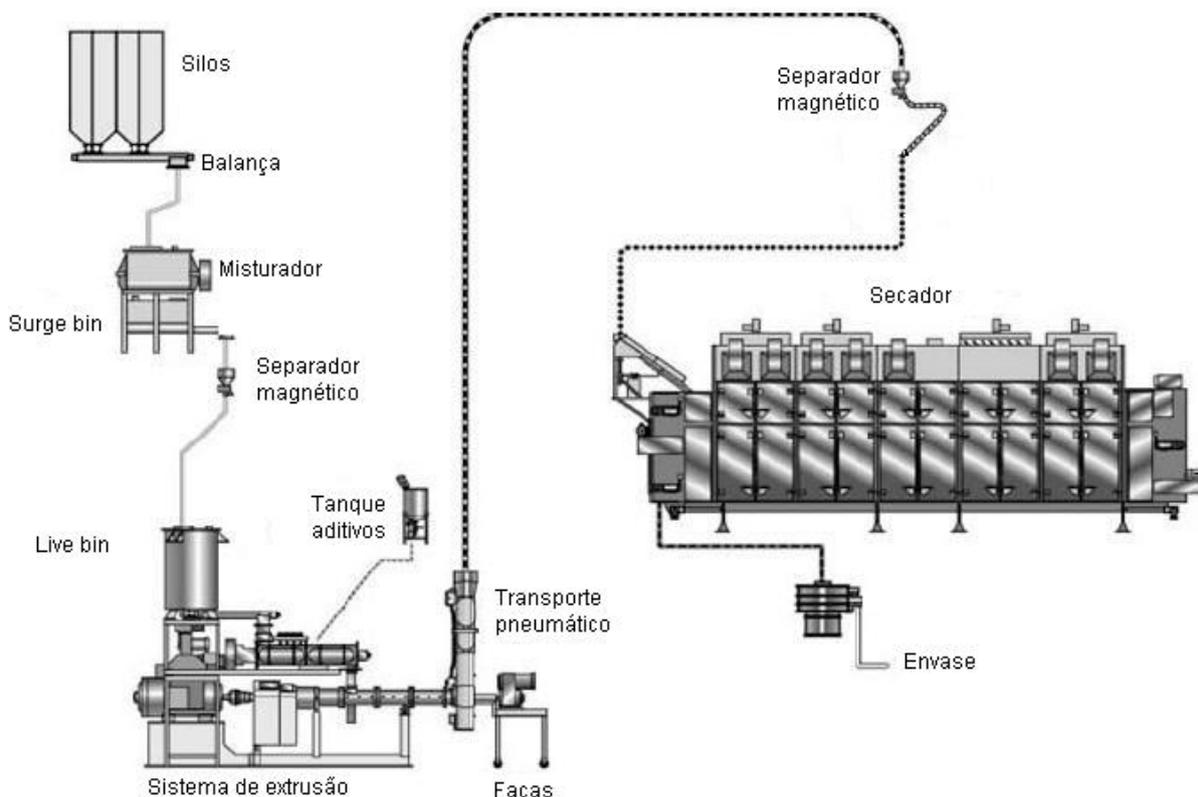


Figura 2.1: Diagrama de fluxo típico para produção de proteína de soja texturizada

Fonte: STRAHM; ROKEY; THOMAS, 2000

Conseqüentemente, é necessário começar com uma visão geral dos princípios da extrusão e da metodologia do processo. Para compreender melhor como o extrusor processa a proteína texturizada de soja, é apropriado dividir os componentes básicos de um sistema de extrusão em três porções: processo do pré-condicionamento, configuração do tambor do extrusor, e o conjunto matriz e faca. O projeto de cada um destes componentes é feito para realizar uma função particular no processo de texturização das proteínas vegetais (ROKEY; HUBER; BEN-GERA, 1992).

No pré-condicionamento ocorre mistura, hidratação, pré-aquecimento e pré-cozimento das matérias-primas. Normalmente o pré-condicionamento, em um extrusor, tem a função de aumentar o tempo de residência do produto no equipamento; é realizado à pressão atmosférica ou em câmaras pressurizadas, na qual as matérias-primas são umedecidas e aquecidas uniformemente por contato de vapor ou água quente.

A penetração uniforme e completa da umidade nos ingredientes primários melhora significativamente a estabilidade do extrusor e a qualidade de produto final. No pré-condicionador atmosférico, a umidade é aplicada uniformemente na forma de água e/ou de vapor, para conseguir um índice de umidade de 10 - 25%. A água é introduzida do alto do pré-condicionador utilizando bocais de pulverizador para atomizá-la; o vapor por sua vez, é adicionado do fundo do pré-condicionador. O encanamento da fonte de vapor deve ser projetado para fornecer um fluxo contínuo de vapor saturado seco. Se o vapor adicionado no pré-condicionador contiver bolsos do condensado, o processo de extrusão se tornará instável devido à variabilidade da umidade. O pré-condicionador é projetado para liberar o vapor adicional e os componentes temporários indesejáveis do sabor encontrados na proteína vegetal crua. Os sabores, os agentes colorantes e outros aditivos líquidos podem ser introduzidos nesta fase do processo assegurando mistura completa e contínua de tudo que entra no tambor do extrusor (STRAHM; ROKEY; THOMAS, 2000).

Do pré-condicionador, a matéria-prima incorpora o conjunto do extrusor que consiste na configuração do tambor e do parafuso. Nesta seção do extrusor, ocorre a principal transformação da proteína vegetal. Os extrusores podem ser projetados com rosca única ou dupla. Em ambos os projetos, o impacto na textura final do produto é afetado pelo perfil do parafuso e do tambor, pelas configurações do parafuso e pela velocidade do parafuso.

No extrusor o alimento é submetido a um processo que combina cisalhamento mecânico e calor criando novas texturas e formas. KINSELLA (1978) *apud* RHEE, KUO e LUSAS (1981), separou o processo de texturização das PTS em três fases distintas. Na primeira fase, as proteínas são hidratadas dentro do extrusor e gradualmente desenroladas e esticadas pela ação do vapor e da rosca giratória; na segunda fase, as proteínas ficam alinhadas e passam através de uma matriz que as comprime e lamina

longitudinalmente; passa-se, então, à terceira fase, quando, na saída da matriz, a pressão cai e a umidade vaporiza, expandindo as estruturas e formando vacúolos de ar no interior destas. O processo resulta em uma estrutura porosa com arranjos paralelos de fibras laminares de proteína.

Além de apresentar benefícios de um processo térmico convencional, o processo de extrusão é rápido e oferece a possibilidade de modificar estruturas do amido e proteínas, tais como: gelatinização e fragmentação do amido, desnaturação de proteínas e interações entre seus produtos. Estas modificações podem também melhorar as propriedades sensoriais (RIAZ, 2004; HORVÁTH *et al*, 1989).

As proteínas são susceptíveis à desnaturação tanto pelo frio como pelo calor. A etapa inicial importante no processo de geleificação das proteínas globulares consiste no aquecimento da solução protéica acima da temperatura de desnaturação. Após o resfriamento, os grupamentos expostos do polipeptídeo desnaturado interagem, conduzindo a formação de complexa rede que atua como matriz capaz de reter água e outros componentes (DAMODARAN, 1988).

Como mencionado anteriormente, uma propriedade dos produtos extrusados é a expansão. A alta pressão existente próxima à descarga da matriz é reduzida quando o produto sai do extrusor, ocasionando a evaporação instantânea da água e a expansão do produto. A rápida evaporação da umidade do produto resulta em um resfriamento adiabático, ocorrendo sua solidificação ou endurecimento (HARPER, 1978). A passagem do produto através de uma matriz, que consiste de orifícios de diversos formatos, forma um produto com características físicas e geométricas pré-determinadas. Cada matriz tem um emprego específico, ou seja, é utilizada para alguns produtos em particular, além disso, diferenciam-se pelo número de facas existentes.

Após deixar o extrusor, a PTS é carregada pelo transporte pneumático diretamente para o secador de onde segue para o envase.

2.2 Umidade

Sabe-se, desde a antiguidade, que os alimentos com maior conteúdo de água são os mais perecíveis, de tal maneira que o controle da umidade tem sido uma importante ferramenta para a conservação dos produtos de origem vegetal.

Quando os alimentos são expostos a uma determinada umidade, os mesmos reagem no sentido de ajustar sua própria umidade a uma condição de equilíbrio com o ambiente, e o ajuste ocorre quando a pressão de vapor da água na superfície do material se iguala à pressão de vapor da água do ar que o envolve.

A determinação de umidade é uma das medidas mais significativas e utilizadas na análise de alimentos. A umidade de um alimento está relacionada com sua estabilidade, qualidade e composição e pode afetar o armazenamento, o tipo de embalagem e o processamento (OLIVEIRA; BASTOS; FEITOSA, 1999).

Quando um produto alimentício é aquecido em condições nas quais a água é removida, ocorrerá perda de peso, a qual corresponde à umidade do produto. De modo geral, a maior ou menor facilidade na determinação do teor de água de um alimento dependerá das condições em que a água se encontra e da natureza de outras substâncias presentes (CECCHI, 1999).

A água pode estar presente na amostra sob duas formas: água livre e água ligada. Água livre está simplesmente adsorvida no material e é perdida facilmente com temperaturas em torno da sua temperatura de ebulição. Água ligada é a água da constituição do produto, faz parte da estrutura do material, ligada às proteínas e açúcares, e adsorvida na superfície de partículas coloidais, necessitando de níveis elevados de temperatura para sua remoção.

2.3 Atividade de Água

É possível estabelecer uma relação estreita entre o teor de água livre no alimento e sua conservação. O teor de água livre é expresso pela atividade de água (a_w) que é dada pela relação entre a pressão de vapor de água em equilíbrio sobre o alimento, e a pressão de vapor de água pura, à mesma temperatura.

Em seus estudos, ADAMBOUNOU, CASTAIGNE e DILLON (1983), encontraram que o valor ótimo de atividade de água para o crescimento de microrganismos encontra-se entre 0,92 e 0,99. Além disso, a desidratação se revelou também como uma forma de reduzir os custos energéticos, importante para o transporte, embalagem e armazenamento dos alimentos com alto teor de água.

Os efeitos da variação da atividade de água em alimento não só estão ligados a crescimento de microrganismo ou à sua deterioração química, mas, também, à alteração da sua consistência, tornando tais alimentos impróprios para o consumo ou, pelo menos, diminuindo sua aceitação (BOBBIO; BOBBIO, 1985).

2.4 Secagem de Alimentos

A primeira grande evolução na desidratação de alimentos nos Estados Unidos ocorreu entre o final do século 19 e o início do século 20, com o desenvolvimento dos

primeiros secadores artificiais que viriam substituir a secagem solar. Posteriormente, no período que precedeu a segunda grande guerra, pesquisaram-se e desenvolveram-se os secadores de tambor e o spray dryer, muito utilizados, até hoje, na produção de laticínios e ovos.

A secagem é um processo de conservação de alimentos pelo uso de calor, que visa remover a água livre dos alimentos por evaporação, retardando o crescimento de microorganismos e aumentando seu tempo de conservação (EVANGELISTA, 1994); é uma operação unitária importante, pois visa preparar o produto para armazenagem, mas se mal conduzida, poderá baixar a qualidade comercial do produto antes mesmo da armazenagem ou acelerar o processo de deterioração durante a armazenagem (MARTINS; MATA, 1984).

FARIAS (2002), diz que a secagem de alimentos de origem vegetal ou animal, quanto ao modo de sua realização, é efetuada através de dois tipos: secagem natural ou ao sol e secagem artificial ou desidratação.

No processo de secagem o teor de umidade do produto é reduzido até um nível que possibilita a conservação, enquanto que na desidratação o teor de umidade é levado a níveis próximos de zero.

No processo de secagem ocorre a transferência simultânea de calor e massa, fazendo-se necessária utilização de calor para evaporar a umidade da superfície do produto, através de um meio de secagem externo, normalmente o ar. A secagem é um complexo processo que envolve a transferência de calor, massa e quantidade de movimento, sendo que o transporte de umidade, do interior para a superfície do material, pode ocorrer na forma de líquido e/ou vapor, dependendo do tipo de produto e do percentual de umidade presente. O processo de secagem deve acontecer de maneira controlada para que ela possa ocorrer de maneira uniforme, evitando elevados gradientes de umidade e temperatura no interior do material que podem provocar a perda da qualidade do produto. Sabendo-se que os efeitos da secagem alteram as propriedades físicas e químicas do produto e estas, por sua vez, afetam o processo de transferência de calor e massa, é fundamental se conhecer os seus efeitos e o seu controle (FARIAS, 2002).

2.5 Taxa de Secagem

O processo de secagem de um material pode ser descrito como uma série de etapas nas quais a taxa de secagem possui um papel fundamental. Os parâmetros que influenciam na taxa de secagem são: temperatura e umidade relativa do ar ambiente, temperatura e fluxo do ar de secagem, teor de água inicial, a composição do produto e a orientação de seus constituintes e o fluxo do produto no secador.

Na Figura 2.2, são mostradas as curvas de evolução do teor de água do produto (X), de sua temperatura (T) e da taxa de secagem (dX/dt), também chamada de velocidade secagem, ao longo do tempo, para um experimento utilizando ar de propriedades constantes.

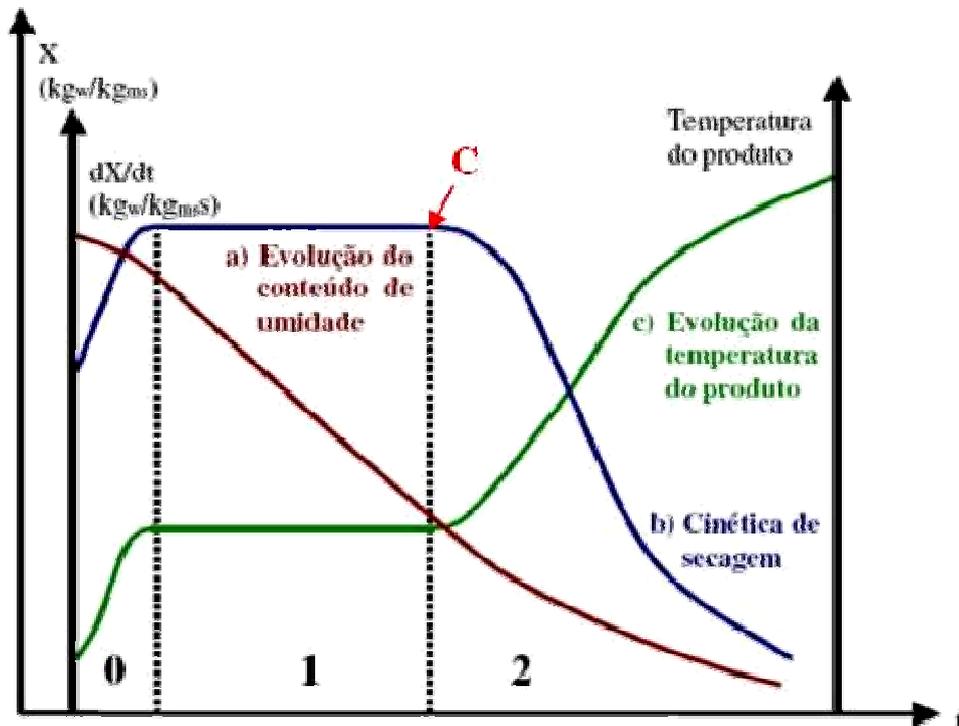


Figura 2.2: Exemplo de curva de secagem

Fonte: PARK *et al*, 2007

A curva (a) representa a diminuição do teor de água do produto durante a secagem (conteúdo de umidade do produto, $X = X_{BS}$, em relação à evolução do tempo de secagem t), isto é, é a curva obtida pesando o produto durante a secagem numa determinada condição de secagem.

A curva (b) representa a taxa de secagem do produto (variação do conteúdo de umidade do produto por tempo, dX/dt em relação à evolução do tempo t), isto é, é a curva obtida diferenciando a curva (a).

A curva (c) representa a variação da temperatura do produto durante a secagem (variação da temperatura do produto, T em relação à evolução do tempo t), isto é, é a curva obtida medindo a temperatura do produto durante a secagem.

Período 0 - é o período de indução ou o período de se entrar em regime operacional. Este período caracteriza-se por apresentar uma rápida mudança na temperatura da superfície do sólido, até que ela atinja o valor da temperatura de saturação do ar. Durante esse período pode haver liberação ou absorção de calor pelo material,

dependendo da temperatura inicial do material. A duração deste período é insignificante em relação ao período total de secagem.

Período 1 - consiste no período de taxa constante de secagem, que representa a remoção da água não ligada do alimento. Durante esta etapa, a superfície do produto encontra-se saturada de umidade e a água atua como se o sólido não estivesse presente. A taxa de secagem é, desta forma, limitada pela evaporação da água na superfície e a temperatura da superfície é aproximadamente igual à temperatura de bulbo úmido. Este período se mantém apenas enquanto a taxa de migração da água do interior do sólido para a superfície é a mesma da evaporação desta para o meio.

Período 2 - consiste no período de taxa decrescente de secagem. Desde o momento em que a água começa a ser deficiente na superfície, a taxa de secagem diminui. Essa redução deve-se à diminuição da concentração de umidade no interior do sólido e, quanto menor o teor de umidade, mais difícil é a migração desta para a superfície. Esta etapa caracteriza-se por um declínio (muitas vezes linear) da taxa de secagem, cujo fator limitante passa a ser, então, a migração interna da umidade. Este período é responsável pela maior parcela do tempo do processo de secagem.

Estima-se que este período de taxa decrescente possa ser dividido em duas etapas (embora, muitas vezes, seja difícil de observar onde se encerra a primeira e começa a segunda):

- a primeira etapa decrescente ocorre quando a superfície ainda contém pontos úmidos que vão continuamente diminuindo até a secagem completa desta; esta parte da curva pode ser tão curta e nem mesmo aparecer ou, em outros casos, constituir integralmente o período de taxa decrescente de secagem;
- a segunda etapa decrescente se inicia quando a superfície já se encontra totalmente seca; nesta etapa, o calor necessário para a remoção da umidade migra através do sólido até a interface de vaporização, enquanto que o vapor desloca-se através do sólido até a corrente de ar, ou seja, a taxa de secagem é controlada pela difusão do líquido no interior do sólido e pela transferência de massa na superfície deste.

É importante que se conheça o ponto crítico (C), ponto que corresponde ao final da zona de secagem com taxa constante e o início do período com taxa decrescente. Assim, se a umidade final desejada para o produto é superior àquela correspondente ao ponto C, todo o material será seco durante a etapa de taxa constante. Por outro lado, se a umidade inicial estiver abaixo do valor de umidade do ponto C, todo o processo de secagem estará dentro da zona de secagem decrescente. Em função disso que são determinados os parâmetros da secagem, como por exemplo, o tempo de residência do material no interior do equipamento.

A Figura 2.3 representa a transferência de água do interior de um sólido até a superfície, através da evaporação de água da superfície do material ao ambiente.

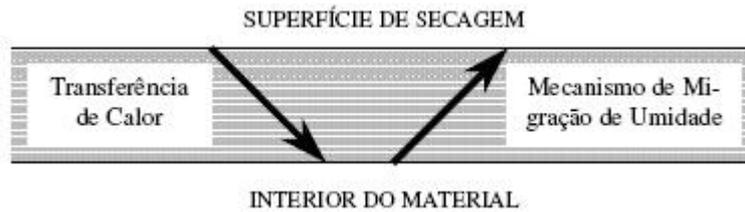


Figura 2.3: Diagrama da migração de água no interior de um sólido

Fonte: PARK *et al*, 2007

Dentre os mecanismos mais importantes de migração interna de umidade, podemos citar:

- difusão líquida, ocorre devido à existência do gradiente de concentração;
- difusão de vapor, ocorre devido ao gradiente de pressão de vapor, causado pelo gradiente de temperatura;
- escoamento de líquido e de vapor, ocorrem devido à diferença de pressão externa, de concentração, capilaridade e alta temperatura. Todas estas considerações, tais como, conteúdo inicial de umidade do material; conteúdo final de umidade que o material pode chegar (umidade de equilíbrio); modo pelo qual a água está relacionada com a estrutura do sólido e modo pelo qual o transporte da água é feito do interior à superfície do sólido durante a secagem servem para fundamentar o fenômeno de secagem.

2.6 Classificação de Secadores

Os secadores podem ser classificados de diversas maneiras:

- *Segundo o método de aquecimento*

Existem vários métodos que podem ser utilizados para fornecer calor para o material, assim é muito difícil classificar todos os tipos de secadores. Os mais importantes são por convecção, por condução, por radiação e secadores dielétricos.

A convecção é um dos métodos mais comuns; estima-se que os secadores convectivos respondam por quase 90% dos processos alimentícios. O agente de secagem (ar pré-aquecido) passa sobre ou através do sólido, evaporando a umidade e transportando-

a para fora do secador. Tendo em mente o aumento da eficiência térmica e a economia de energia, uma recirculação total ou parcial do ar de secagem é também muito utilizada. As condições de secagem podem ser controladas pela temperatura e umidade do ar aquecido.

Outro método bastante utilizado é o de aquecimento por condução, onde o calor é fornecido ao material úmido por contato de superfícies aquecidas, que suportam ou confinam o material, tais como: bandejas, placas, cilindros ou paredes de secadores. A temperatura do material é maior do que na secagem por convecção e os coeficientes de transferência de calor do material para a superfície aquecida e da superfície aquecida para o ar aquecido governam o total de calor transferido para o material.

- *Modo de operação*

Conforme a direção do fluxo de ar e de produto no secador, o processo de secagem pode ser classificado como secagem estacionária (ou de leito fixo) e secagem de fluxo contínuo. No primeiro caso, a massa de grãos permanece em repouso e força-se a passagem de um fluxo de ar. A secagem estacionária ocorre da base para o topo do secador e do centro para a sua periferia. O processo ocorre por camadas, em virtude da formação de zonas de secagem, correspondente à região onde se efetiva a transferência de calor e de massa.

Já a secagem de fluxo contínuo consiste em submeter os grãos a uma corrente de ar, enquanto eles fluem constantemente pelo secador. De acordo com a direção do fluxo de ar em relação ao fluxo de produto, os secadores podem ser classificados como: secadores de fluxos cruzados, secadores de fluxo concorrentes, secadores de fluxo contracorrente e secadores de fluxo misto.

A seguir será apresentado o secador de túnel, um dos equipamentos mais comumente utilizados na secagem de produtos alimentícios.

2.6.1 Secador tipo túnel

O secador contínuo do tipo túnel, utilizado no estudo do processo de secagem industrial de PTS, se assemelha ao secador de bandejas, porém, neste caso, elas são colocadas sobre roletes e se movimentam no interior do equipamento. O princípio de funcionamento é bastante simples: o ar é aspirado através de ventoinhas, passa por uma zona de aquecimento e entra na câmara de secagem; nesse compartimento ele é deslocado de forma a passar através da camada de material, removendo sua umidade.

O material que está sendo seco, por sua vez, entra em uma das extremidades do túnel e sai pela outra. Algumas variações desse modelo permitem que o material passe duas vezes no interior do equipamento, pois no secador existem dois conjuntos de bandejas. Nesse caso, o material entra e sai pela mesma extremidade do túnel.

Geralmente, forma-se uma camada de 10 a 50 cm de material sobre as bandejas. Para melhor compreensão desse tipo de secador, observe a Figura 2.4.

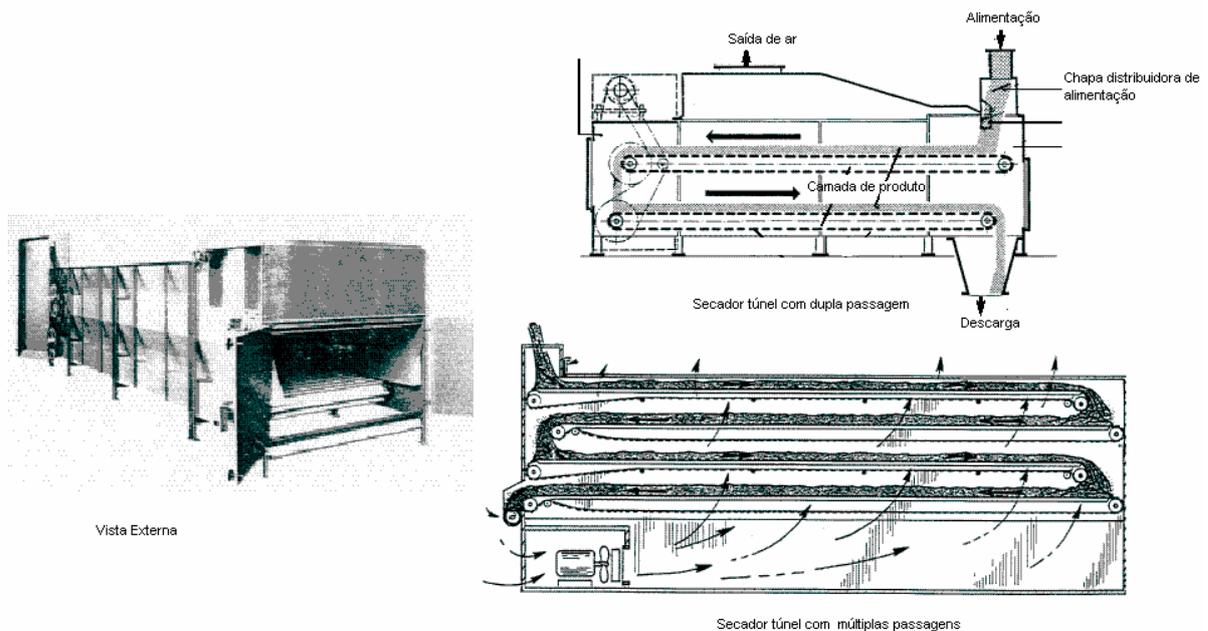


Figura 2.4: Secador tipo túnel

Fonte: STRAHM; ROKEY; THOMAS, 2000

Basicamente, o secador túnel é composto pelas seguintes partes:

- *Dispositivo de Alimentação*

São equipamentos que fazem a distribuição do material na entrada do secador túnel. Sua função é distribuí-lo da forma mais homogênea possível, para permitir uma secagem uniforme de todo o material. Os alimentadores podem ser do tipo bico oscilatório, cinto oscilatório ou, ainda, vibratório com abertura parcial.

- *Bandejas*

A função das bandejas é transportar o material ao longo do secador. É através da velocidade de seu movimento que se ajusta o tempo de residência do material no interior do

equipamento. Normalmente, a velocidade é elevada quando o leito é raso; para leitos mais profundos, a velocidade de deslocamento da bandeja é mais baixa.

- *Ventiladores*

A função dos ventiladores é promover o deslocamento de ar no interior do secador permitindo que o processo de secagem ocorra. De acordo com o projeto do secador, o fluxo de ar pode ser estabelecido sobre o leito e através do leito. Para se obter um produto de boa qualidade, é necessário que o fluxo de ar seja uniforme ao longo de toda a operação.

- *Fontes de Aquecimento*

A finalidade desses dispositivos é fornecer calor para o ar de secagem. Podem ser aquecedores com calor direto ou com calor indireto.

Os aquecedores com calor direto têm melhor troca térmica, permitem alcançar temperaturas elevadas e apresentam elevada eficiência. No entanto, podem provocar a combustão do produto. Já nos aquecedores de calor indireto não há a possibilidade de combustão do produto, mas a troca térmica e a eficiência do processo são prejudicadas.

- *Dispositivos de Entrada de Ar*

São responsáveis pela admissão de ar no equipamento de secagem, seja para fornecer ar para aquecimento ou ar utilizado no resfriamento do material.

- *Dispositivos de Saída de Ar Exausto*

São responsáveis pela remoção do ar que foi utilizado no processo de secagem e apresentam umidade elevada, necessitando ser substituídos.

É importante destacar que ao final do processo de secagem, o produto é submetido a uma etapa de resfriamento. Assim, os secadores são compostos por uma zona de resfriamento que pode estar localizada imediatamente após as zonas de secagem (resfriadores integrais), sendo um outro estágio do equipamento, como se fosse um outro túnel; ou, ainda, estar completamente separado do secador, constituindo-se em um outro equipamento.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos com amostras de PTS coletadas no secador industrial tipo túnel. Posteriormente foram moídas no moinho de facas e então analisadas no equipamento de determinação de umidade.

3.1 Matéria-Prima e Local da Realização dos Experimentos

A matéria-prima utilizada para avaliação de homogeneidade de secagem do secador tipo túnel da planta de PTS foi uma proteína texturizada sem coloração artificial, com teor de proteína de aproximadamente 70% e ainda em fase de desenvolvimento. Este trabalho foi realizado na empresa Solae do Brasil Indústria e Comércio de Alimentos Ltda, na Planta de Produção de PTS e no seu Laboratório de Controle de Qualidade.

3.2 Equipamentos Utilizados

3.2.1. Secador tipo túnel

O secador industrial utilizado foi do tipo túnel e suas principais características estão descritas no Capítulo 2 deste trabalho. As temperaturas que normalmente são utilizadas na zona 1, zona 2, zona 3 e zona 4 são respectivamente 105°C, 100°C, 100°C e 90°C. A Figura 3.1 apresenta um esquema do secador tipo túnel, onde estão representados os fluxos de ar do secador de suas diferentes zonas. Na zona 1 o ar quente se desloca de baixo para cima na esteira superior, na zona 2 o ar quente se desloca de cima para baixo na esteira superior, na zona 3 o ar quente se desloca de baixo para cima na esteira inferior e na zona 4 o ar quente se desloca de cima para baixo na esteira inferior.

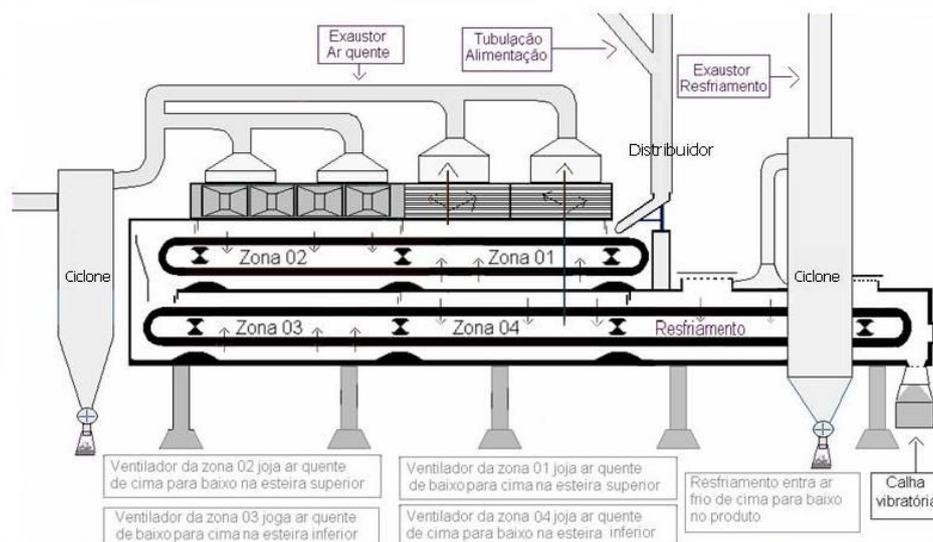


Figura 3.1: Esquema do secador tipo túnel

3.2.2 Moinho de facas

O moinho de facas utilizado no preparo das amostras encontra-se localizado no Laboratório de Controle de Qualidade de Produção de PTS. O moinho é da marca “Willi Mill”, modelo nº 2, com peneira acoplada. A peneira acoplada possui abertura de 0,6 cm de diâmetro.

3.2.3 METTLER TOLEDO HB43 analisador de umidade

O teor de umidade das amostras foi determinado no METTLER TOLEDO HB43, que é um aparelho que utiliza um método desenvolvido a partir da secagem infravermelha. A tecnologia é baseada no princípio do radiador de halogênio. Tem vantagem de construção compacta do radiador de halogênio, que alcança a temperatura desejada operando rapidamente e podendo ser precisamente controlado. O resultado é gerado de maneira rápida com eficiente distribuição de calor na amostra. Dependendo da amostra e teor de umidade, produz resultados exatos dentro de 3 -10 minutos. A desvantagem como em todos os métodos térmicos, é a possibilidade da decomposição da amostra e, além da água, outras substâncias poderão evaporar (METHODS, 2007). Segundo PADRÃO (2007), que realizou um estudo sobre equipamentos de determinação de umidade para PTS, o método de radiação halógena é um método rápido e simples de medir o teor de umidade, já que apresenta um desvio de apenas 0,3 - 0,4%.

O analisador de umidade METTLER TOLEDO HB43 (Figura 3.2) pode ser usado para determinar o índice de umidade de muitas substâncias. O instrumento opera sobre o princípio da secagem por radiação halógena até peso constante. A radiação halógena seca a amostra enquanto uma balança de precisão acoplada no instrumento mede continuamente o peso. A perda total do peso é interpretada como o índice de umidade. O benefício principal de usar radiação halógena envolve secagem mais curta da amostra comparada com os métodos tradicionais. Além disso, a forma do anel do radiador, e de sua posição acima da amostra, resulta em secagem muito uniforme, e conseqüentemente da boa repetibilidade dos resultados (METHODS, 2007).



Figura 3.2: METTLER TOLEDO HB43 analisador de umidade

Fonte: METTLER, 2007

No METTLER TOLEDO HB43, todos os componentes do sistema (radiador de halogênio, contrapeso, impressora, exposição, relação dos dados) são combinados para dar forma a um instrumento compacto (METHODS, 2007). A Tabela 3.1 demonstra as características deste equipamento.

Tabela 3.1: Características do METTLER TOLEDO analisador de umidade

Modelo do Instrumento	HB43
Escala de Temperatura	50-200°C
Programas de Temperatura ⁽¹⁾	2
Níveis de Temperatura de Secagem	5
Peso Mínimo da Amostra	0,5g
Peso Máximo da Amostra	41g
Repetibilidade com amostras de 10g	0,03%
Repetibilidade com amostras de 2g	± 0,15%

⁽¹⁾ Os programas de secagem predefinidos permitem otimizar a intensidade dada radiação às propriedades das amostras.

Fonte: METHODS, 2007

A temperatura de secagem exerce uma influência que controla o tempo da medida. Deve ser selecionada de modo que a amostra não queime nem mude sua estrutura química. Uma temperatura de secagem desnecessariamente baixa prolonga o tempo de secagem. É importante salientar também que determinadas amostras podem desprender quantidades diferentes de umidade em temperaturas de secagem diferentes. Mínimos desvios dos valores do teor de umidade em relação ao método de referência podem ser compensados mudando a temperatura de secagem. Em amostras com índice de umidade elevada, é possível encurtar o tempo da medida pela seleção do programa de secagem rápido. Neste, a maior parte da umidade existente é separada em temperatura elevada e, depois, a temperatura é diminuída e mantida constante até o fim da secagem (METHODS, 2007).

Os dois programas de secagem no METTLER TOLEDO HB43 são o de secagem padrão e rápida. As curvas características dos programas estão apresentadas na Figura 3.3 (METHODS, 2007).

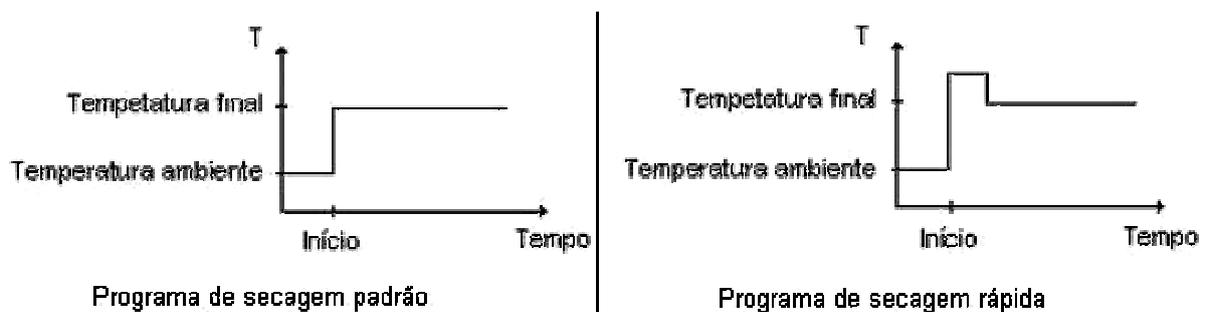


Figura 3.3: Curvas características dos programas de secagem

Fonte: METTLER, 2007

3.3 Métodos

3.3.1 Método de análise de morfologia

Esta análise avalia o tamanho e a aparência de cada peça da PTS, a proposta é medir o comprimento das peças e também avaliá-las quanto às características externas e estabelecer em que classe de morfologia elas se encontram. O resultado desta análise serve como parâmetro de controle do processo, sendo que se o resultado não for satisfatório pode-se atuar nas condições de processo para que o produto permaneça dentro das especificações.

As peças podem ser classificadas como:

- *Morfologia 1*

As peças que devem ser classificadas como morfologia 1 apresentam pelo menos uma das características a seguir:

- Peça < 5 cm;
- Peça que se quebra e que gera partes < 5 cm;
- Peça muito curva com ângulo $\leq 90^\circ$;
- Peça com fenda(s) e/ou orifício(s) e que gera fibras < 5 cm;
- Peça não uniforme e/ou pouco expandida.

- *Morfologia 2*

As peças que devem ser classificadas como morfologia 2 apresentam as características a seguir:

- Peça ≥ 5 cm e que não tenham as características de classe 1 ou classe 3;
- Se a peça quebrar em duas partes, uma delas deverá apresentar dimensão ≥ 5 cm, desde que esta parte não seja desuniforme e/ou pouco expandida;
- Peça com fenda(s) e/ou orifício(s), mas que gera fibras > 5 cm;
- Peça com ângulo interno $> 90^\circ$.

- *Morfologia 3*

As peças que devem ser classificadas como morfologia 3 apresentam as características a seguir:

- Peça ≥ 6 cm desde que não tenham as características de classe 1 ou classe 2;
- Peça que não quebra;
- Peça uniforme e expandida;
- Peça sem fendas e/ou orifícios;
- Peça reta ou com pequena curvatura.

A Figura 3.4 representa a classificação morfológica de acordo com as regras citadas acima.



Figura 3.4: Classificação morfológica

3.3.2 Método de determinação do teor de umidade

A determinação de umidade no METTLER seguiu o procedimento descrito pela Solae do Brasil Ind. e Com. de Alimentos Ltda, feito de acordo as instruções do fornecedor do equipamento.

Condições de operação do analisador de umidade:

- temperatura de secagem: 120°C;
- curva de temperatura: padrão;
- nível de temperatura: 3.

Procedimento de análise:

- com a tampa fechada tarar o equipamento;
- pesar diretamente no prato de análise 5g \pm 0,5g da amostra previamente moída em moinho de facas, homogeneizada e bem espalhada ou distribuída por toda a área do prato a temperatura ambiente (25°C \pm 5°C);
- fechar a tampa do equipamento e esperar o resultado do teor de umidade, que será dado automaticamente após 9 -12 min.

3.4 Procedimentos Realizados

3.4.1 Determinação do teor de umidade de PTS para morfologia distinta

Este procedimento tem como objetivo determinar a influência da morfologia do produto sobre sua umidade. O teste foi realizado com medidas do teor de umidade de peças de morfologia 1 e 3. Foram avaliadas somente peças de morfologia 1 e 3 por de tratarem de peças com maior discrepância na estrutura externa.

O experimento foi executado com oito amostragens em uma única posição do secador. Coletou-se aproximadamente 800g de amostra e posteriormente classificou-se a amostra de acordo com a metodologia de análise de morfologia. Após a classificação morfológica as amostras foram moídas no moinho de facas e com 5 g de cada amostra moída determinou-se o teor de umidade no METTLER TOLEDO HB43. A análise do teor de umidade de cada amostra foi realizada duas vezes. A Figura 3.5 representa a amostra de PTS após a moagem.



Figura 3.5: Amostra com peças moídas de PTS

3.4.2 Determinação da homogeneidade de secagem de PTS

O objetivo deste teste é verificar a homogeneidade de secagem do secador da planta de PTS, para solucionar problemas de armazenagem do produto. A homogeneidade foi avaliada através de medidas do teor de umidade (%) em diferentes pontos do secador. O teste foi realizado duas vezes, para que fosse possível avaliar a repetibilidade dos

resultados. No primeiro teste foram realizadas 18 amostragens e no segundo teste 13 amostragens.

Cada amostragem foi executada em seis pontos do secador, em dois níveis de altura (superior e inferior) e três níveis de posição (direita, meio e esquerda). A Figura 3.6 indica os pontos de coleta para diferentes posições e alturas de camada do produto.

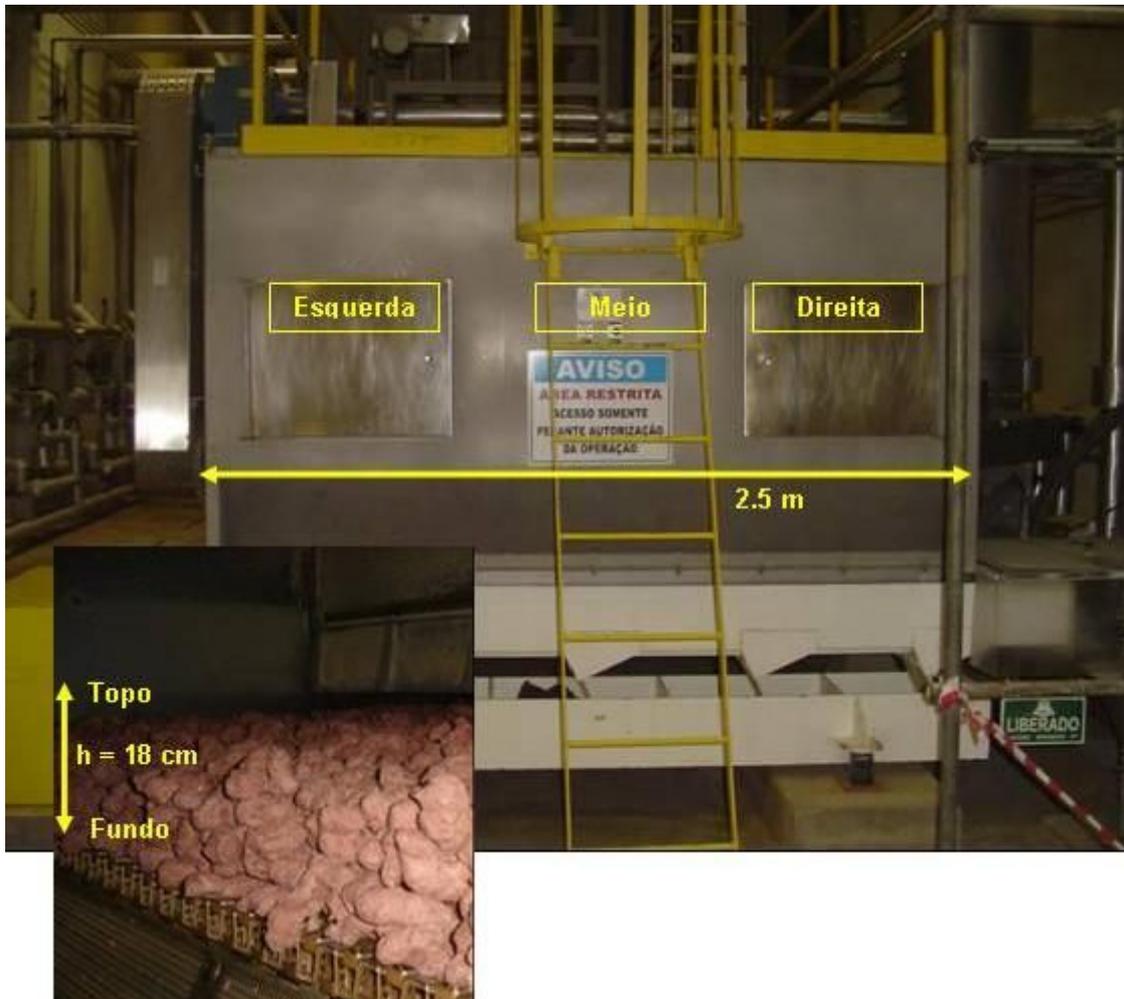


Figura 3.6: Pontos de coleta de amostra no secador

De cada ponto distinto coletou-se aproximadamente 150g de amostra. Após a coleta as amostras foram moídas no moinho de facas. Com 5g das amostras moídas determinou-se o teor de umidade no METTLER TOLEDO HB43. A análise do teor de umidade de cada amostra foi avaliada duas vezes.

3.5 Análise Estatística

Diferenças significativas entre as amostras foram testadas usando análise de variância (ANOVA) com 95% de confiança. O principal objetivo da ANOVA é identificar se os valores da variável de resposta medidos nos diversos níveis diferem entre si.

A ANOVA basicamente divide a variabilidade em dois tipos Entre Grupos e Dentro de Grupos; comparando as duas, quanto maior for a primeira, comparada à segunda, maior é a evidência de que existe variabilidade entre grupos, ou seja, médias diferentes.

Para os experimentos fatoriais que envolvem dois fatores, temos a seguinte nomenclatura: fator A com “a” níveis e fator B com “b” níveis e cada repetição completa dos experimentos envolve “n” ensaios.

O modelo estatístico utilizado é apresentado na Equação 1:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad \text{Eq (1)}$$

Onde:

$i = 1, a$

$j = 1, b$

$k = 1, n$

μ é a média geral;

τ_i é o efeito do i-ésimo nível de A;

β_j é o efeito do j-ésimo nível de B;

$(\tau\beta)_{ij}$ é o efeito da interação AB;

ε_{ijk} é o erro aleatório.

As fórmulas utilizadas para a análise de variância são apresentadas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Fórmulas utilizadas para análise ANOVA

	Fórmulas
TC	$(T_{...})^2 / (a*b*n)$
SQA	$[\sum(T_{i.})^2] / (b*n) - TC$
SQB	$[\sum(T_{.j})^2] / (a*n) - TC$
SQAB	$[\sum(T_{ij})^2] / n - TC - SQA - SQB$
SQR	$\sum(x_{ijk})^2 - [\sum(T_{ij})^2] / n$
SQT	$\sum(x_{ijk})^2 - TC$

A Tabela 3.3 representa a forma como se expressam os resultados da ANOVA para dois fatores.

Tabela 3.3: Tabela ANOVA para dois fatores

Fonte de Variação	SQ	GDL	MQ	F Calculado	F Tabelado
A	SQA	(a - 1)	MQA = SQA/GLA	Fa = MQA/MQR	Fa = (GLA, GLR, ±)
B	SQB	(b - 1)	MQB = SQB/GLB	Fb = MQB/MQR	Fb = (GLB, GLR, ±)
interação AB	SQAB	(a - 1)(b - 1)	MQAB = SQAB/GLAB	Fab = MQAB/MQR	Fab = (GLAB, GLR, ±)
variação residual	SQR	ab(n - 1)	MQR = SQR/GLR		
Total	SQT	(abn - 1)			

F indica quão diferentes são as médias amostrais com relação à variabilidade dentro de cada amostra. Quanto maior o valor de F, maior a probabilidade de as diferenças entre as médias amostrais serem causadas por motivo diferente do acaso, motivo denominado real.

Quando $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$ significa que o fator analisado tem efeito significativo sobre os resultados e que pelo menos uma das médias dos grupos é considerada diferente; quando $F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$ o fator não tem efeito significativo e as médias dos grupos podem ser consideradas iguais.

A análise de variância faz o seguinte teste de hipóteses:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_c$$

H_1 : pelo menos uma das médias é diferente das outras.

Quando o fator tem efeito significativo, ou seja, a hipótese H_1 é verdadeira, devemos calcular o limite de decisão (três vezes o desvio padrão das médias) para que seja possível avaliar se há diferença significativa entre as médias. O cálculo do limite de decisão está apresentado na Equação 2.

$$L_d = 3 * \frac{\sqrt{MQR}}{\sqrt{n}} \quad \text{Eq (2)}$$

Se a diferença entre as médias dos grupos for inferior ao limite de decisão, não há diferença significativa entre as médias. Se o contrário ocorrer, há diferença significativa entre as médias.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para análise dos resultados do experimento de determinação do teor de umidade de PTS para morfologia distinta utilizou-se a ANOVA de fator único, na qual a variável de resposta é o teor de umidade das amostras de morfologia 1 e 3.

Para os resultados da análise de determinação da homogeneidade de secagem da PTS utilizou-se a ANOVA de dois fatores. Os fatores analisados foram altura (superior e inferior) e posição (direita, meio e esquerda).

4.1 Determinação do Teor de Umidade de PTS para Morfologia Distinta

A Tabela 4.1 apresenta o horário de coleta das amostras, os resultados da análise em duplicata do teor de umidade para as amostra de morfologia 1 e 3, as médias dos resultados do teor de umidade para morfologia 1 e 3 e a razão entre o teor de umidade médio da amostra de morfologia 3 e teor de umidade médio da amostra de morfologia 1.

Tabela 4.1: Resultados da análise do teor de umidade para PTS com morfologia 1 e 3

Horário de Coleta	Umidade (%) Morfologia 1	Umidade (%) Morfologia 3	Umidade média (%) Morfologia 1	Umidade média (%) Morfologia 3	$\frac{\text{Morf 3}}{\text{Morf 1}}$
08:50	4,78	7,05	4,57	7,16	1,57
	4,36	7,27			
09:30	4,72	6,97	4,76	7,08	1,49
	4,79	7,19			
10:15	5,45	7,80	5,47	7,74	1,42
	5,48	7,67			
11:15	4,47	7,22	4,53	7,23	1,60
	4,59	7,24			
13:10	4,72	7,10	4,61	7,16	1,55
	4,50	7,21			
14:40	4,64	7,46	4,63	7,47	1,62
	4,61	7,48			
15:20	4,80	7,10	4,81	7,07	1,47
	4,81	7,03			
16:30	5,22	8,03	5,21	8,12	1,56
	5,19	8,20			

Na Tabela 4.1 pode-se visualizar uma razão praticamente constante entre a divisão do teor de umidade médio da amostra de morfologia 3 pelo teor de umidade médio da amostra de morfologia 1. Sendo assim, pode-se concluir que a amostra de morfologia 3 apresenta teor de umidade aproximadamente 50% maior que o teor de umidade da amostra de morfologia 1.

A Tabela 4.2 apresenta o resumo da análise ANOVA, realizada a partir dos dados de teor de umidade médio para morfologia 1 e 3 apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.2: Resumo da análise ANOVA

RESUMO					
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância	
Coluna 1	8	38,57	4,82	0,11	
Coluna 2	8	58,98	7,37	0,13	

ANOVA					
Fonte da variação	SQ	GDL	MQ	F _{Calculado}	F _{Tabelado}
Entre grupos	26,04	1	26,04	208,90	4,60
Dentro dos grupos	1,75	14	0,12		
Total	27,78	15			

Como $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$ (Tabela 4.2), pode-se concluir que há diferença significativa entre as médias, ou seja, há diferença entre o teor de umidade médio da amostra de morfologia 1 e o teor de umidade médio da amostra de morfologia 3.

A Figura 4.1 apresenta o teor de umidade médio das oito amostras de morfologia 1 e 3 analisadas, representando os resultados apresentados na Tabela 4.1.

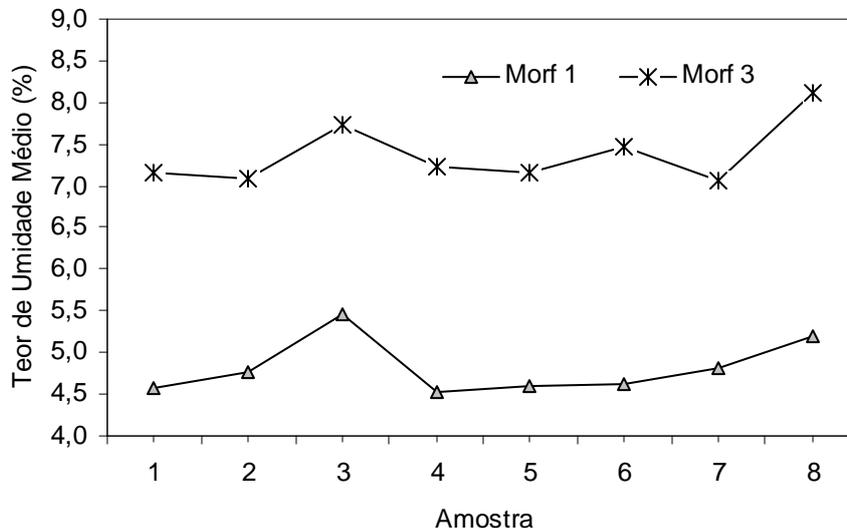


Figura 4.1: Teor de umidade médio das amostras de morfologia 1 e 3

A análise da Figura 4.1 mostra a relação existente entre o teor de umidade médio da amostra de morfologia 1 e o teor de umidade médio da amostra de morfologia 3, pois seus pontos seguem a mesma tendência.

Pode-se dizer que a morfologia das peças influencia nos resultados do teor de umidade da PTS, e assim, é necessário que a amostra para a análise do teor de umidade

para controle de qualidade represente o lote em termos de morfologia, para que seu resultado seja mais próximo da realidade. Portanto, a amostra para análise do teor de umidade para controle de qualidade deve apresentar a mesma proporção de peças com morfologia 1, 2 e 3 que o lote.

4.2 Determinação da Homogeneidade de Secagem de PTS

4.2.1 Primeiro teste

A Tabela 4.3 apresenta a data e horário de coleta das 18 amostras analisadas, os resultados do teor de umidade médio das amostras dois seis pontos de amostragem do primeiro teste. Os seis pontos de amostragem foram na posição Direita, Meio e Esquerda para a parte Inferior da camada de produto e na posição Direita, Meio e Esquerda para a parte Superior da camada de produto.

Tabela 4.3: Teor de umidade médio para seis pontos distintos de amostragem – primeiro teste

Data	Horário	Inferior			Superior		
		Direita	Meio	Esquerda	Direita	Meio	Esquerda
22/ago	14:10	5,84	7,27	6,82	6,79	7,22	6,47
22/ago	16:00	6,05	7,02	6,73	5,66	6,84	7,01
22/ago	18:00	5,91	7,31	6,66	6,66	7,42	7,29
23/ago	14:00	5,04	6,43	6,56	5,72	6,68	6,59
23/ago	15:45	6,39	7,61	7,43	6,50	7,28	7,88
23/ago	18:00	6,02	6,48	6,92	6,15	7,46	7,71
27/ago	14:20	6,62	7,54	7,01	6,98	8,11	7,90
27/ago	15:45	5,75	7,59	6,67	6,45	7,74	7,27
27/ago	18:00	6,11	7,78	6,80	6,84	8,00	7,61
28/ago	14:45	5,55	7,16	6,22	5,91	7,19	7,11
28/ago	16:30	5,75	7,44	7,57	6,07	8,10	7,18
28/ago	17:50	6,14	7,51	6,44	6,60	8,41	7,15
29/ago	15:05	5,13	5,79	6,19	5,43	7,19	6,41
29/ago	16:45	4,98	6,21	5,80	5,24	6,93	5,88
29/ago	18:15	4,89	7,44	6,16	5,76	7,69	6,42
31/ago	14:10	6,26	7,21	6,79	7,17	8,09	7,38
31/ago	16:05	6,07	7,28	7,79	7,07	8,25	7,29
31/ago	18:00	5,92	7,40	6,69	6,37	7,63	7,03

A Tabela 4.4 apresenta os níveis utilizados para as variáveis altura (A), posição (B) e número de experimentos realizados (n) do primeiro teste.

Tabela 4.4: Níveis das variáveis utilizadas – primeiro teste

a	2	Nº de níveis utilizados para a variável Altura de Amostragem
b	3	Nº de níveis utilizados para a variável Posição de Amostragem
n	18	Nº de experimentos realizados em cada ponto

A Tabela 4.5 apresenta as médias dos resultados das análises do teor de umidade para os seis pontos de amostragem do primeiro teste.

Tabela 4.5: Teor de umidade médio dos experimentos para cada nível – primeiro teste

Altura	Posição		
	Direita	Meio	Esquerda
Inferior	5,80	7,13	6,73
Superior	6,12	7,57	7,09

A Tabela 4.6 apresenta os resultados da análise ANOVA de dois fatores, para os resultados do teor de umidade médio das 18 amostragens do primeiro teste.

Tabela 4.6: ANOVA para projetos de 2 fatores – primeiro teste

Fonte de Variação	SQ	GDL	MQ	F Calculado	F Tabelado
A	3,65	1	3,65	12,82	3,93
B	36,46	2	18,23	63,99	3,09
AB	0,06	2	0,03	0,11	3,09
Erro	29,06	102	0,28		
Total	69,23	107			

Através da análise da Tabela 4.6 pode-se concluir que o efeito da variável altura (A) e da variável posição (B) são significativos já que $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$ para as duas variáveis. No caso da interação, podemos dizer que ela não exerce efeito significativo, pois $F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$.

Como os fatores altura (A) e posição (B) têm efeito significativo, deve-se calcular o limite de decisão para que seja possível avaliar quais médias tem diferença significativa e quais podem ser consideradas iguais. A Tabela 4.7 apresenta o cálculo do limite de decisão do primeiro teste.

Tabela 4.7: Resultado do cálculo do limite de decisão – primeiro teste

	Fórmulas	Valores
S	$(MQ_{\text{erro}})^{1/2} / (n)^{1/2}$	0,13
Ld	$3 * S$	0,38

Os resultados das médias de do teor de umidade de cada grupo (Tabela 4.5) foram colocados em ordem crescente para facilitar a análise da diferença significativa entre as

médias dos grupos (seis pontos de amostragem) e os mesmos estão apresentados na Tabela 4.8.

Tabela 4.8: Teor de umidade médio dos experimentos para cada nível em ordem crescente – primeiro teste

Altura	Posição		
	Direita	Esquerda	Meio
Inferior	5,80	6,73	7,13
Superior	6,12	7,09	7,57

A Tabela 4.9 apresenta os resultados de avaliação de diferença significativa entre as médias para o efeito da variável altura da camada de produto (fator A). Para avaliar se há diferença significativa entre as médias subtrai-se a média de uma posição menos a média de outra posição e compara-se o resultado com o valor do limite de decisão.

Tabela 4.9: Resultados da análise de comparação das médias para variável altura da camada de produto – primeiro teste

INFERIOR			
Esq - Dir	0,93	> Ld	Há diferença significativa entre as médias
Meio - Esq	0,40	~ Ld	Não há diferença significativa entre as médias
SUPERIOR			
Esq - Dir	0,97	> Ld	Há diferença significativa entre as médias
Meio - Esq	0,48	> Ld	Há diferença significativa entre as médias

A partir dos resultados apresentados na Tabela 4.9 pode-se assumir as seguintes considerações:

- na parte Inferior do secador o teor de umidade não é homogêneo, uma vez que há diferença significativa entre as médias da posição Esquerda e Direita, pois a diferença de suas médias é superior ao limite de decisão. Já a diferença entre as médias das posições Meio e Esquerda podem ser consideradas equivalentes ao limite de decisão e assim não há diferença significativa entre suas médias. Portanto, na parte Inferior do secador há dois pontos com teor de umidade diferenciado, o ponto da posição Direita e o ponto das posições Meio e Esquerda que foram agrupadas por apresentarem teor de umidade homogêneo;
- na parte Superior do secador o teor de umidade não é homogêneo, uma vez que há diferença significativa entre as médias da posição Esquerda e Direita, e da posição Meio e Esquerda, pois a diferença de suas médias é superior ao limite de decisão. Portanto, na parte Superior do secador há três pontos com teor de umidade diferenciado, o ponto da posição Direita, o ponto da posição Meio e o ponto da posição Esquerda.

A Tabela 4.10 apresenta os resultados de avaliação de diferença significativa entre as médias para o efeito da variável posição (fator B). Para avaliar se há diferença significativa entre as médias subtrai-se a média da altura Superior menos a média da altura Inferior e compara-se o resultado com o valor do limite de decisão.

Tabela 4.10: Resultados da análise de comparação das médias para a variável posição do secador – primeiro teste

Direita	Sup - Inf	0,32	< Ld	Não há diferença significativa entre as médias
Meio	Sup - Inf	0,43	> Ld	Há diferença significativa entre as médias
Esquerda	Sup - Inf	0,35	< Ld	Não há diferença significativa entre as médias

A partir dos resultados apresentados na Tabela 4.10 pode-se assumir as seguintes considerações:

- na posição Direita não há diferença significativa entre as médias, uma vez que a diferença entre as médias da altura Superior e Inferior é menor que o limite de decisão;
- na posição Meio há diferença significativa entre as médias, pois a diferença entre as médias da altura Superior e Inferior é maior que o limite de decisão;
- na posição Esquerda não há diferença significativa entre as médias, uma vez que a diferença entre as médias da altura Superior e Inferior é menor que o limite de decisão.

A Figura 4.2 apresenta as médias do teor de umidade de cada ponto de coleta do secador, para o primeiro teste.

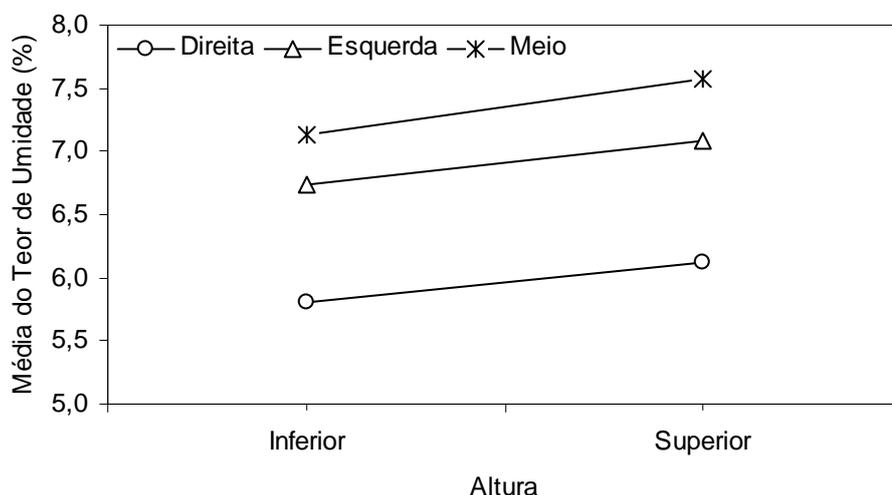


Figura 4.2: Média do teor de umidade para cada ponto distinto – primeiro teste

A Figura 4.2 mostra que há uma tendência entre a média do teor de umidade da altura Inferior e Superior para as posições Direita, Meio e Esquerda.

4.2.2 Segundo teste

O segundo teste foi realizado para verificar a repetibilidade dos resultados, ou seja, se os resultados encontrados no primeiro teste se reproduziriam no segundo.

A Tabela 4.11 apresenta a data e horário de coleta das 13 amostras analisadas, os resultados do teor de umidade médio das amostras dois seis pontos de amostragem do segundo teste. Os seis pontos de amostragem foram na posição Direita, Meio e Esquerda para a parte Inferior da camada de produto e na posição Direita, Meio e Esquerda para a parte Superior da camada de produto.

Tabela 4.11: Teor de umidade médio para seis pontos distintos de amostragem – segundo teste

Data	Horário	Inferior			Superior		
		Direita	Meio	Esquerda	Direita	Meio	Esquerda
8/out	09:00	6,80	8,19	9,06	7,62	8,87	8,41
8/out	10:20	7,48	8,52	7,57	8,06	8,33	8,38
8/out	14:10	6,76	7,62	8,28	6,64	8,69	8,83
9/out	10:00	6,42	8,85	8,07	7,18	9,75	8,44
10/out	08:20	6,35	7,36	7,22	6,94	8,16	7,43
10/out	10:30	6,23	6,63	7,08	6,73	8,09	7,70
10/out	11:40	6,51	7,18	6,96	6,50	7,72	7,40
10/out	14:20	6,90	7,67	7,73	7,49	8,91	8,00
10/out	15:30	6,89	8,53	8,06	7,92	9,10	8,15
15/out	08:30	7,46	8,67	8,25	8,10	8,47	8,07
15/out	10:00	7,28	8,57	8,27	8,03	8,68	8,27
16/out	10:40	7,05	7,81	6,77	6,89	8,05	7,72
16/out	11:00	5,60	6,93	6,90	6,66	8,57	8,12

A Tabela 4.12 apresenta os níveis utilizados para as variáveis altura (A), posição (B) e número de experimentos realizados (n) do segundo teste.

Tabela 4.12: Níveis das variáveis utilizadas – segundo teste

a	2	Nº de níveis utilizados para a variável Altura de Amostragem
b	3	Nº de níveis utilizados para a variável Posição de Amostragem
n	13	Nº de experimentos realizados em cada ponto

A Tabela 4.13 apresenta as médias dos resultados das análises do teor de umidade para os seis pontos de amostragem do segundo teste.

Tabela 4.13: Teor de umidade médio dos experimentos para cada nível – segundo teste

Altura	Posição		
	Direita	Meio	Esquerda
Inferior	6,75	7,88	7,71
Superior	7,29	8,57	8,07

A Tabela 4.14 apresenta os resultados da análise ANOVA de dois fatores, para os resultados do teor de umidade médio das 13 amostragens do segundo teste.

Tabela 4.14: ANOVA para projetos de 2 fatores – segundo teste

Fonte de Variação	SQ	GDL	MQ	F _{Calculado}	F _{Tabelado}
A	5,43	1	5,43	15,44	3,97
B	20,20	2	10,10	28,74	3,12
AB	0,33	2	0,17	0,47	3,12
Erro	25,31	72	0,35		
Total	51,27	77			

Através da análise da Tabela 4.14 pode-se concluir que os efeitos da variável altura (A) e da variável posição (B) são significativos já que $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$, para as duas variáveis. No caso da interação, podemos dizer que ela não exerce efeito significativo, pois $F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$.

Como os fatores altura (A) e posição (B) têm efeito significativo, deve-se calcular o limite de decisão para que seja possível avaliar quais médias tem diferença significativa e quais podem ser consideradas iguais. A Tabela 4.15 apresenta o cálculo do limite de decisão do segundo teste.

Tabela 4.15: Resultado do cálculo do limite de decisão – segundo teste

	Fórmulas	Valores
S	$(MQ_{\text{erro}})^{1/2} / (n)^{1/2}$	0,16
Ld	$3 * S$	0,49

Os resultados das médias de do teor de umidade de cada grupo (Tabela 4.13) foram colocados em ordem crescente para facilitar a análise da diferença significativa entre as médias dos grupos (seis pontos de amostragem) e os mesmos estão apresentados na Tabela 4.16.

Tabela 4.16: Teor de umidade médio dos experimentos para cada nível em ordem crescente – segundo teste

Altura	Posição		
	Direita	Esquerda	Meio
Inferior	6,75	7,71	7,88
Superior	7,29	8,07	8,57

A Tabela 4.17 apresenta os resultados de avaliação de diferença significativa entre as médias para o efeito da variável altura da camada de produto (fator A). Para avaliar se há diferença significativa entre as médias subtrai-se a média de uma posição menos a média de outra posição e compara-se o resultado com o valor do limite de decisão.

Tabela 4.17: Resultados da análise de comparação das médias para a variável altura da camada de produto – segundo teste

INFERIOR			
Esq - Dir	0,96	> Ld	Há diferença significativa entre as médias
Meio - Esq	0,18	< Ld	Não há diferença significativa entre as médias
SUPERIOR			
Esq - Dir	0,78	> Ld	Há diferença significativa entre as médias
Meio - Esq	0,50	~ Ld	Não há diferença significativa entre as médias

A partir dos resultados apresentados na Tabela 4.17 pode-se assumir as seguintes considerações:

- na parte Inferior do secador o teor de umidade não é homogêneo, já que há diferença significativa entre as médias da posição Esquerda e Direita, pois a diferença de suas médias é superior ao limite de decisão. Já a diferença entre as médias das posições Meio e Esquerda é menor que o limite de decisão e assim não há diferença significativa entre suas médias. Portanto, na parte Inferior do secador há dois pontos com teor de umidade diferenciado, o ponto da posição Direita e o ponto das posições Meio e Esquerda que foram agrupadas por apresentarem teor de umidade homogêneo;
- os resultados do segundo teste para a altura Inferior da cama de produto permanecem constantes em relação ao primeiro teste;
- na parte Superior do secador o teor de umidade não é homogêneo, já que há diferença significativa entre as médias da posição Esquerda e Direita, pois a diferença de suas médias é superior ao limite de decisão. Já a diferença entre as médias das posições Meio e Esquerda podem ser consideradas equivalentes ao limite de decisão e assim não há diferença significativa entre suas médias. Portanto, na parte Superior do secador há dois pontos com teor de umidade diferenciado, o ponto da posição Direita e o ponto das posições Meio e Esquerda que foram agrupadas por apresentarem teor de umidade homogêneo;

- os resultados do segundo teste para a altura Superior da cama de produto não permanecem constantes em relação ao primeiro teste. No primeiro teste há três pontos com teor de umidade diferenciado, os pontos referentes as posições Direita, Meio e Esquerda; no segundo teste há dois pontos com teor de umidade diferenciado, o ponto da posição Direita e o ponto das posições Meio e Esquerda.

A Tabela 4.18 apresenta os resultados de avaliação de diferença significativa entre as médias para o efeito da variável posição (fator B). Para avaliar se há diferença significativa entre as médias subtrai-se a média da altura Superior menos a média da altura Inferior e compara-se o resultado com o valor do limite de decisão.

Tabela 4.18: Resultados da análise de comparação das médias para a variável posição do secador – segundo teste

Direita	Sup - Inf	0,54	~ Ld	Não há diferença significativa entre as médias
Meio	Sup - Inf	0,68	> Ld	Há diferença significativa entre as médias
Esquerda	Sup - Inf	0,36	< Ld	Não há diferença significativa entre as médias

A partir dos resultados apresentados na Tabela 4.18 pode-se assumir as seguintes considerações:

- na posição Direita não há diferença significativa entre as médias, já que a diferença entre as médias da altura Superior e Inferior é praticamente igual ao limite de decisão. Os resultados para a posição Direita permanecem constantes em relação ao primeiro teste;

- na posição Meio há diferença significativa entre as médias, pois a diferença entre as médias da altura Superior e Inferior é maior que o limite de decisão. Os resultados para a posição Meio permanecem constantes em relação ao primeiro teste;

- na posição Esquerda não há diferença significativa entre as médias, já que a diferença entre as médias da altura Superior e Inferior é menor que o limite de decisão. Os resultados para a posição Esquerda permanecem constantes em relação ao primeiro teste;

A Figura 4.3 apresenta as médias do teor de umidade de cada ponto de coleta do secador, para o segundo teste.

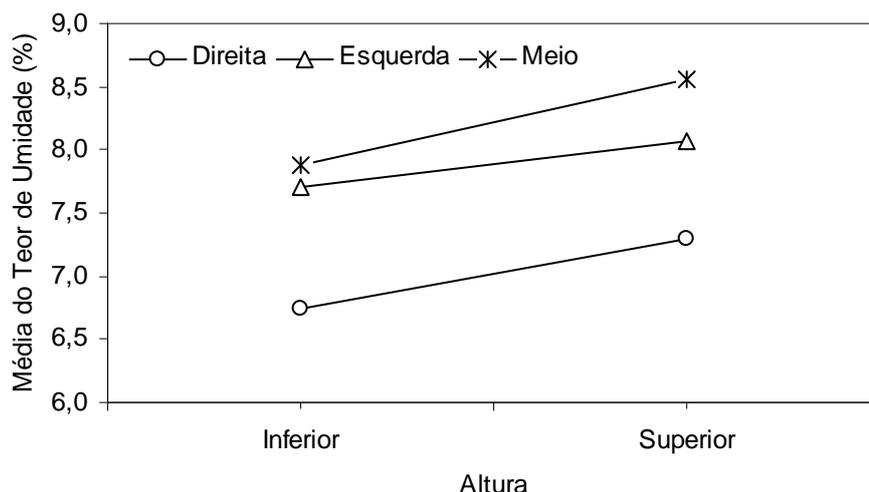


Figura 4.3: Média do teor de umidade para cada ponto distinto – segundo teste

A Figura 4.3 mostra que há uma tendência entre a média do teor de umidade da altura Inferior e Superior para as posições Direita e Meio. Na posição da Esquerda esta tendência não pode ser evidenciada, pois a média do teor de suas umidades da altura Inferior e Superior não seguem a mesma tendência que as médias do teor de umidade da posição Direita e Meio.

Possíveis explicações para justificar o perfil de secagem:

- a parte Inferior está em contato com a esteira, que de certo modo transfere calor para o produto por condução e por isso apresenta teor de umidade menor que a parte Superior;
- nas laterais (posição Direita e Esquerda) o produto sofre influência da transferência de calor por convecção, através da lateral do secador. Como na parte externa da lateral Direita quase não há espaço entre a parede do secador e a parede da área, a troca de calor por convecção natural fica menos eficiente que na lateral Esquerda, onde a área é maior e possivelmente há maior troca térmica por convecção natural.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram realizados dois experimentos. Um deles teve como objetivo determinar a influência da morfologia sobre o teor de umidade do produto e o outro determinar a homogeneidade de secagem do secador industrial de PTS.

A seguir, são apresentadas as principais conclusões obtidas em cada experimento.

- ***Determinação do Teor de Umidade de PTS para Morfologia Distinta***

Foram analisados os teores de umidade de amostras com morfologia 1 e 3. Pode-se evidenciar uma razão praticamente constante entre a divisão do teor de umidade médio da amostra de morfologia 3 pelo teor de umidade médio da amostra de morfologia 1. Sendo assim, pode-se concluir que a amostra de morfologia 3 apresenta teor de umidade aproximadamente 50% maior que o teor de umidade da amostra de morfologia 1.

Segundo resultados da ANOVA, $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$ e pode-se concluir que há diferença significativa entre as médias, ou seja, há diferença entre o teor de umidade médio da amostra de morfologia 1 e o teor de umidade médio da amostra de morfologia 3.

Pode-se dizer que a morfologia das peças influencia nos resultados do teor de umidade da PTS, e assim, é necessário que a amostra para a análise do teor de umidade para controle de qualidade represente o lote em termos de morfologia, para que seu resultado seja mais próximo da realidade. Portanto, a amostra para análise do teor de umidade para controle de qualidade deve apresentar a mesma proporção de peças com morfologia 1, 2 e 3 que o lote.

- ***Determinação da Homogeneidade de Secagem de PTS***

Os fatores analisados neste experimento, realizado duas vezes, foram a posição (direita, meio, esquerda) e a altura (inferior, superior) da camada de secagem. Os resultados do teor de umidade desses seis pontos foram avaliados pela ANOVA de dois fatores.

Os fatores altura (A) e posição (B) têm efeito significativo tanto no primeiro quanto no segundo teste. O fator de interação altura-posição não tem efeito significativo em nenhum dos testes.

A parte Inferior do secador não apresenta teor de umidade homogêneo, tanto no primeiro quanto no segundo teste. Portanto, na parte Inferior do secador há dois pontos com

teor de umidade diferenciado, o ponto da posição Direita e o ponto das posições Meio e Esquerda que foram agrupadas por apresentarem teor de umidade homogêneo.

A parte Superior do secador não apresenta teor de umidade homogêneo, tanto no primeiro quanto no segundo teste, porém os pontos com teor de umidade homogênea são distintos. Portanto, no primeiro teste, há três pontos com teor de umidade diferenciado, os pontos referentes às posições Direita, Meio e Esquerda; no segundo teste, há dois pontos com teor de umidade diferenciado, o ponto da posição Direita e o ponto das posições Meio e Esquerda que foram agrupadas por apresentarem teor de umidade homogêneo.

A posição Direita apresenta teor de umidade homogêneo para o primeiro e segundo testes, pois não há diferença significativa entre as médias dos teores de umidade da altura Superior e Inferior.

A posição Meio não apresenta teor de umidade homogêneo para o primeiro e segundo testes, pois há diferença significativa entre as médias dos teores de umidade da altura Superior e Inferior.

A posição Esquerda apresenta teor de umidade homogêneo para o primeiro e segundo testes, pois não há diferença significativa entre as médias dos teores de umidade da altura Superior e Inferior.

A parte Inferior está em contato com a esteira que, de certo modo transfere calor para o produto por condução e por isso apresenta teor de umidade menor que a parte Superior.

Nas laterais (posição Direita e Esquerda) o produto sofre influência da transferência de calor associada às altas temperaturas da parede lateral do secador. Como na parte externa da lateral Direita quase não há espaço entre a parede do secador e a parede da sala, a troca de calor por convecção natural fica menos eficiente que na lateral Esquerda, onde a área é maior possibilitando maior troca térmica por convecção natural.

REFERÊNCIAS

ADAMBOUNOU, T.L.; CASTAIGNE, F.; DILLON, J.C. Abaissement de l'activité de l'eau de légumes tropicaux par déshydratation osmotique partielle. **Sciences des Aliments**, Paris: Lavoisier Abonnements, v.3, n. 4, p. 551-567, 1983.

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Introdução a química dos alimentos**. Campinas, Fundação Cargil, 1985. 306 p.

CASSINI, A. S. **Análise das Características de Secagem da Proteína Texturizada de Soja**. 2004. 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. Campinas: Editora da UNICAMP, 1999. 212 p.

DAMODARAN, S. Refolding of thermally unf3olded soy proteins during the cooling regime of the gelation process: effect on gelation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 36, n. 2, p. 262-269, 1988.

EVANGELISTA, J. **Tecnologia dos alimentos**. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 1994. 270 p.

FARIAS, E. S.; GOUVEIA, J. P. G.; ALMEIDA, F. A. C.; BRUNO, L. A.; NASCIMENTO, J. Secagem de cajá em um secador de leito fixo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 18., 2002, Belém. **Anais...** SBF: Belém, 2002. CD.

HARPER, J.M. Extrusion processing of food. **Food Technology**, v. 32, n. 7, p. 67-72, 1978.

HAYAKAWA, I. et al. 1998. **Texturization of whole soybean in a twin screw extruder**. Faculty Agron. Kyushu Universty 33: 213-220.

HORVÁTH, E. et al. Effect of extrusion temperature on physico-chemical properties and biological value of soybean-protein. **Acta Alimentaria**, v.18, p.199-211, 1989.

MARTINS, J. H.; MATA, M. E. R. M. **Introdução a teoria e simulação matemática de secagem de grãos**. Campina Grande: Núcleo de Tecnologia em Armazenagem/UFPB, 1984. 104 p.

METHODS of moisture content determination **Application Brochure**: Halogen Moisture Analyser from METTLER TOLEDO, Switzerland, p.3-45, 2007. Disponível em: <http://us.mt.com/mt/filters/products-applications_laboratory-eighing_halogen-moisture-analyzer/Moisture_Analyzer_0x000010083f6eb48c40005a4b.jsp>. Acesso em: 02 out. 2007.

METTLER. **METTLER TOLEDO HB43**. Disponível em: <www.mt.com>. Acesso em: 18 nov. 2007.

OLIVEIRA, M. E. B.; BASTOS, M. S. R.; FEITOSA, T. Avaliação de parâmetros de qualidade físico-químicos de polpas congeladas de acerola, cajá e caíu. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 19, n. 3, p. 326-332, 1999.

PADRÃO, D. K. **Comparação de Métodos Analíticos de Determinação do Teor de Umidade em Proteínas Texturizadas de Soja.** 2007. 76f. Monografia (Trabalho de Conclusão em Engenharia de Alimentos), Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

PARK, Kil Jin *et al.* **Conceitos de Processo e Equipamentos de Secagem.** Campinas: Unicamp, 2007. 127 p.

RHEE, K. C., KUO, C. K. e LUSAS, E. W., Texturization. In: CHERRY, J.P. Ed. Protein functionality in foods. **American Chemical Society**, p. 51-88, 1981.

RIAZ, M. N. Textured Soy Protein as an Ingredient. In: YADA, R. Y. **Proteins in Food Processing.** Estados Unidos: Woodhead Publishing Ltda, 2004. Cap. 22, p. 517-556.

ROKEY, G. J., HUBER, G. R. and BEN-GERA I. Extrusion-cooked and textured defatted soybean flours and protein concentrates. In: **Proceedings of the World Conference on Oilseed Technologies and Utilization.** (Ed. Applewhite). AOCS Press, Champaign, IL, 1992.

STRAHM, B.; ROKEY, G.; THOMAS, C. **Wenger Process Description.** Estados Unidos: Sabetha, 2000. 17 p.

APÊNDICE A

Dados experimentais obtidos na análise de determinação do teor de umidade de PTS para as amostras dos seis pontos de amostragem do primeiro e do segundo teste. Os seis pontos de amostragem foram na posição Direita, Meio e Esquerda para a parte Inferior da camada de produto e na posição Direita, Meio e Esquerda para a parte Superior da camada de produto.

Data	Horário	Primeiro Teste					
		Inferior			Superior		
		Direita	Meio	Esquerda	Direita	Meio	Esquerda
22/ago	14:10	5,83	7,28	6,89	6,67	7,13	6,50
		5,85	7,25	6,75	6,90	7,30	6,44
22/ago	16:00	5,97	7,00	6,74	5,63	6,84	7,10
		6,13	7,03	6,71	5,68	6,84	6,92
22/ago	18:00	5,84	7,40	6,69	6,74	7,62	7,38
		5,98	7,21	6,63	6,58	7,22	7,19
23/ago	14:00	5,01	6,45	6,50	5,80	6,76	6,52
		5,06	6,40	6,61	5,63	6,59	6,65
23/ago	15:45	6,37	7,57	7,39	6,53	7,28	7,99
		6,40	7,64	7,47	6,46	7,27	7,77
23/ago	18:00	5,94	6,61	6,86	6,11	7,58	7,68
		6,09	6,35	6,98	6,19	7,34	7,74
27/ago	14:20	6,82	7,57	7,02	6,89	8,11	7,84
		6,41	7,50	7,00	7,06	8,10	7,96
27/ago	15:45	5,80	7,62	6,64	6,42	7,79	7,35
		5,69	7,56	6,70	6,47	7,69	7,19
27/ago	18:00	6,23	7,86	6,74	6,67	8,04	7,55
		5,98	7,69	6,85	7,01	7,95	7,66
28/ago	14:45	5,42	7,31	6,17	6,01	7,18	7,20
		5,67	7,00	6,27	5,81	7,19	7,02
28/ago	16:30	5,66	7,45	8,00	6,05	8,20	7,19
		5,84	7,43	7,13	6,09	8,00	7,17
28/ago	17:50	6,14	7,55	6,44	6,57	8,27	7,14
		6,13	7,46	6,43	6,63	8,55	7,15
29/ago	15:05	5,09	5,82	6,13	5,42	7,16	6,47
		5,17	5,75	6,24	5,44	7,22	6,35
29/ago	16:45	4,99	6,29	5,88	5,23	6,78	6,00
		4,96	6,13	5,71	5,24	7,08	5,76
29/ago	18:15	4,91	7,44	6,15	5,85	7,71	6,41
		4,87	7,44	6,16	5,67	7,66	6,43
31/ago	14:10	6,28	7,06	6,66	7,20	8,18	7,31
		6,24	7,35	6,91	7,13	8,00	7,44
31/ago	16:05	6,02	7,31	7,83	7,02	8,40	7,22
		6,12	7,25	7,75	7,11	8,10	7,36
31/ago	18:00	5,92	7,32	6,66	6,16	7,61	6,97
		5,92	7,47	6,71	6,58	7,64	7,08

Segundo Teste							
Data	Horário	Inferior			Superior		
		Direita	Meio	Esquerda	Direita	Meio	Esquerda
8/out	09:00	6,80	8,25	9,07	7,55	8,85	8,28
		6,80	8,12	9,04	7,68	8,88	8,53
8/out	10:20	7,50	8,62	7,45	7,99	8,41	8,39
		7,45	8,42	7,68	8,13	8,25	8,37
8/out	14:10	6,71	7,68	8,33	6,70	8,65	8,82
		6,81	7,56	8,22	6,58	8,72	8,83
9/out	10:00	6,40	8,81	7,99	7,21	9,80	8,44
		6,44	8,89	8,15	7,15	9,69	8,44
10/out	08:20	6,33	7,46	7,33	6,98	8,14	7,47
		6,37	7,26	7,10	6,90	8,18	7,38
10/out	10:30	6,18	6,66	7,15	6,67	8,18	7,73
		6,28	6,59	7,01	6,78	8,00	7,67
10/out	11:40	6,59	7,30	7,04	6,47	7,69	7,48
		6,43	7,05	6,87	6,52	7,74	7,32
10/out	14:20	7,00	7,74	7,63	7,57	8,92	7,93
		6,79	7,60	7,82	7,40	8,90	8,07
10/out	15:30	6,86	8,49	8,02	7,98	9,09	8,10
		6,92	8,57	8,10	7,86	9,10	8,19
15/out	08:30	7,42	8,54	8,16	8,15	8,57	8,07
		7,50	8,79	8,34	8,05	8,36	8,07
15/out	10:00	7,32	8,60	8,31	8,03	8,77	8,35
		7,23	8,53	8,23	8,02	8,58	8,19
16/out	10:40	7,05	7,84	6,73	6,89	8,05	7,61
		7,04	7,77	6,81	6,89	8,04	7,82
16/out	11:00	5,54	6,95	6,87	6,66	8,59	8,25
		5,65	6,90	6,92	6,65	8,55	7,98