



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA



**ESTUDO DA ABSORÇÃO DE ÓLEO EM REVESTIMENTOS DE
PRODUTOS EMPANADOS**

KELCILENE CRISTINA LUCAS

UBERLÂNDIA – MG

2010



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA



**ESTUDO DA ABSORÇÃO DE ÓLEO EM REVESTIMENTOS DE
PRODUTOS EMPANADOS**

Kelcilene Cristina Lucas

Orientadores: Prof. Dr. Eloízio Júlio Ribeiro
Prof. Dr. José Roberto Delalibera Finzer

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Química

UBERLÂNDIA – MG

2010

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU – MG, Brasil

L933e Lucas, Kelcilene Cristina, 1983-
Estudo da absorção de óleo em revestimentos de produtos empanados
[manuscrito] / Kelcilene Cristina Lucas. - 2010.
86 f. : il.

Orientadores: Eloízio Júlio Ribeiro e José Roberto Delalibera Finzer.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pos-Graduação em Engenharia Química.
Inclui bibliografia.

1. Tecnologia de alimentos - Teses. 2. Empanados (Alimentos) - Teses.
3. Frituras - Teses. I. Ribeiro, Eloízio Júlio. II. Finzer, José Roberto Delalibera. III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. IV. Título.

CDU: 664

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA QUÍMICA, EM 29 DE DEZEMBRO DE 2010.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Eloízio Júlio Ribeiro

Orientador PPGEQ/UFU

Prof. Dr. José Roberto Delalibera Finzer

Orientador PPGEQ/UFU

Prof. Dr. Ubirajara Coutinho Filho
FEQUI/UFU

Prof. Dr. Mauro Luiz Begnini
FEQ/UNIUBE

"A mente que se abre a uma nova idéia jamais volta ao seu tamanho original."

Albert Einstein

*Dedico esta dissertação primeiramente a Deus,
pois sem Ele, nada seria possível, à minha
família, pessoas indispensáveis em minha vida e
aos meus amigos pelo apoio sempre recebido.*

Muito obrigada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, razão de todas as coisas, por iluminar o meu caminho e ter possibilitado o fim de mais uma caminhada.

A minha família, em especial a minha mãe Elizabete e a minha vozinha Maria Cândida, pelo constante apoio, dedicação, cuidado e carinho. Tudo o que vocês fizeram por mim ficou marcado em meu coração, tenho plena consciência de que não poderia ser nada sem vocês. Vocês sempre foram o vento sob minhas asas, me incentivando a voar cada vez mais alto.

Ao meu querido Carlos Eduardo, que foi o meu verdadeiro anjo da guarda, dando o melhor de si, nas horas em que mais precisei de apoio e compreensão.

Ao Prof. Eloízio Júlio Ribeiro pela orientação, por toda a dedicação, paciência, confiança e principalmente pelo ser humano maravilhoso. Agradeço pelos longos anos em que tive a honra de desfrutar de sua presença e proteção. Sua destreza, capacidade e humildade suscitaram em mim a maturidade de um profissional. Guardarei na memória os ensinamentos, o jeito, a pessoa ... e no coração o respeito e uma imensurável gratidão. Obrigada por tudo!

Um forte agradecimento ao Professor José Roberto Delalibera Finzer, pela co-orientação, disponibilidade constante, sugestões precisas, amizade e acima de tudo o incentivo constante que tornaram possível a conclusão desta dissertação. Toda minha admiração por seu brilhantismo acadêmico.

Aos membros da banca examinadora. Suas sugestões foram essenciais para a qualidade técnica desta dissertação e para o enriquecimento do meu saber.

A todos os professores da FEQUI, que contribuíram com seus valiosos ensinamentos em minha formação acadêmica.

Aos funcionários da FEQUI: Roberta, Cléo, Zuleide, Édio, Cleide, Tiago e Silvino, pela disposição e prontidão em ajudar-me sempre que precisei.

A minha grande amiga Kássia Graciele. Sua ajuda constante foi imprescindível para que eu pudesse cumprir os prazos do mestrado. Tenho muita admiração por você e pela sua produção científica. Um futuro brilhante lhe aguarda, com certeza será uma professora fabulosa.

A Elisângela Maia, pela amizade, consideração e apoio com o trabalho experimental, contribuindo de maneira minuciosa para a exatidão e confiabilidade dos resultados.

Ao engenheiro José Antonio Tavares, pela gentileza e atenção em compartilhar seus conhecimentos em análises físico-químicas para alimentos, fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

As minhas queridas amigas: Mauri, Carla e Jana. Meus maiores presentes nesta caminhada do mestrado e grandes incentivadoras deste trabalho. Tenho muita sorte de ter o carinho de vocês, pessoas tão generosas e iluminadas.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia, pela oportunidade concedida.

Enfim, a todos, que com boa intenção, colaboraram no desenvolvimento deste trabalho e fizeram parte desta conquista tão especial em minha vida. Muito obrigada!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	ii
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
I - INTRODUÇÃO	1
II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 O processo de fritura.....	5
2.1.1 Produtos fritos	6
2.1.2 Equipamentos de fritura.....	7
2.1.2.1 Equipamentos de fritura em batelada	7
2.1.2.2 Equipamentos para fritura em processo contínuo.....	8
2.2 Processo de fabricação de empanados.....	9
2.2.1 Preparo das matérias-primas.....	11
2.2.2 Moagem das matérias-primas	11
2.2.3 Salmoura.....	11
2.2.4 Emulsão/Massa Fina	12
2.2.5 A mistura	13
2.2.6 Moldagem.....	13
2.2.7 Pré-enfarinhamento	15
2.2.8 Preparo do batter.....	15
2.2.9 Aplicação do 2º sistema de cobertura: “Breading”.....	18
2.2.10 Pré-fritura.....	19
2.2.11 Cozimento.....	20
2.2.12 Congelamento.....	21
2.3 Modelagem do processo de fritura	21
2.3.1 Transferência de calor e massa durante o processo de fritura	24
2.3.2 Perfis de temperatura e umidade durante a fritura.....	27
2.3.3 Formação da crosta	28
2.3.4 O encolhimento do alimento	30
2.4 Mecanismos de absorção de óleo	30
2.5 Pré-tratamentos para redução de óleo em empanados.....	36

III - MATERIAL E MÉTODOS	45
3.1 Material.....	45
3.2 Metodologia Experimental	46
3.2.1 Preparo da solução de amido gelatinizado	46
3.2.2 Pré-tratamento da farinha	47
3.2.3 Curvas de umidade das amostras.....	48
3.2.4 Processo de fritura	49
3.2.5 Método de determinação do teor de lipídeos na farinha de milho frita.....	50
IV - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
4.1 Umidade	53
4.1.1 Determinação Experimental do teor de umidade do amido e da farinha de milho comercial	53
4.1.2 Determinação do tempo de estufa necessário para que a farinha tratada atinja o valor da umidade da farinha comercial.....	54
4.2 Determinação do Teor de Lipídeos	56
V - CONCLUSÕES	61
VI - SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	62
VII - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
APÊNDICE A	76
APÊNDICE B.....	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Esquema de fritadeira com sistema de troca de calor externo e unidade de filtro de óleo.	8
Figura 2.2 – Fluxograma referente ao processo de fabricação de empanados	10
Figura 2.3 – Esquema lateral das partes da moldadeira.	14
Figura 2.4 – Equipamento de preparo de <i>batter</i>	17
Figura 2.5 – Equipamento de aplicação de <i>batter</i> por imersão	17
Figura 2.6 – Equipamento aplicação de <i>batter</i> em cascata.....	18
Figura 2.7 – Equipamento de aplicação de <i>breadcrumb</i>	19
Figura 2.8 – Princípios de transferência de calor convectivo durante a fritura.	24
Figura 2.9 – Bolhas de vapor escapando de um material de alginato imerso em óleo aquecido a 150 °C e 180 °C.	26
Figura 2.10 – Síntese dos perfis de temperatura e de umidade simulados durante o processo de fritura, de acordo com a geometria do alimento.....	28
Figura 2.11 – Crosta formada durante a fritura de nuggets de frango: (a) depois de 30 s e(b) após 90 s de fritura em óleo de canola.	29
Figura 2.12 – Interpretação física da absorção de óleo durante o resfriamento.	34
Figura 3.1 – Exemplos de equipamentos e materiais empregados: (a) estufa; (b) peneira de aço inox em forma de cone; (c) amido comercial; (d) farinha de milho comercial; (e) balança digital, placa Petri e recipiente com bico pulverizador; (f) termopar, recipiente de teflon antiaderente, óleo de palma.....	46
Figura 3.2 – Esquema do preparo da solução gelatinizada de amido.....	47
Figura 3.4 – Evolução do processo de fritura durante este trabalho: (a) Unidade empregada nos testes iniciais; (b) Unidade empregada nos experimentos de fritura.	50
Figura 3.5 – Esquema da extração de óleo da amostra, por meio do Método de Soxhlet.....	51
Figura 4.1– Determinação do teor de umidade em função do tempo de secagem em estufa, para a farinha de milho comercial.	54
Figura 4.2– Determinação do teor de umidade em função do tempo de secagem em estufa, para a adição de diferentes massas de solução de amido (30% w/w) na farinha de milho: (a) 1 g; (b) 2 g; (a) 1 g; (c) 3 g; (d) 4 g; (e) 5 g; (f) 6 g; (g) 7 g; (g) 8 g; (i) 9 g e (j) 10 g.	55
Figura 4.3 – Teor de óleo absorvido na farinha frita em função da quantidade de solução de amido adicionada à farinha de milho.	57
Figura 4.4 – Identificação da condição de menor absorção de gordura durante a fritura da farinha de milho.	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Distribuição granulométrica da farinha de milho comercial.	45
Tabela 4.1 – Cálculo experimental do teor de umidade do amido comercial.	53
Tabela 4.2 – Determinação experimental do teor de umidade da farinha de milho comercial.	54
Tabela 4.3 – Determinação experimental do tempo ótimo de estufa para que as amostras tratadas atinjam a mesma umidade da farinha de milho comercial.	56
Tabela 4.4 – Determinação da quantidade de óleo absorvido durante a fritura das amostras tratadas e da amostra padrão (sem tratamento, Caso (a)).	57
Tabela 4.5 – Teste de Diferença entre as médias da porcentagem total de gordura extraída.	58
Tabela A.2 – Dados de umidade (t=5 min).	78
Tabela A.3 – Dados de umidade (t=10 min)	78
Tabela A.4 – Dados de umidade (t=15 min)	79
Tabela A.5 – Dados de umidade (t=20 min)	79
Tabela A.6 – Dados de umidade (t=25 min)	80
Tabela A.7 – Dados de umidade (t=30 min)	80
Tabela A.8 – Dados de umidade (t=35 min)	81
Tabela A.9 – Dados de umidade (t=40 min)	81
Tabela B.1 – Teor de gordura absorvida no processo de fritura, obtida pelo Método de Sox, sem a adição de solução de amido.	83
Tabela B.2 – Teor de gordura absorvida no processo de fritura, obtida pelo Método de Sox, com a adição de 1 g de solução de amido.	83
Tabela B.3 – Teor de gordura absorvida no processo de fritura, obtida pelo Método de Sox, com a adição de 2 g de solução de amido.	83
Tabela B.4 – Teor de gordura absorvida no processo de fritura, obtida pelo Método de Sox, com a adição de 3 g de solução de amido.	84
Tabela B.5 – Teor de gordura absorvida no processo de fritura, obtida pelo Método de Sox, com a adição de 4 g de solução de amido.	84
Tabela B.6 – Teor de gordura absorvida no processo de fritura, obtida pelo Método de Sox, com a adição de 5 g de solução de amido.	84
Tabela B.7 – Teor de gordura absorvida no processo de fritura, obtida pelo Método de Sox, com a adição de 6 g de solução de amido.	85
Tabela B.8 – Teor de gordura absorvida no processo de fritura, obtida pelo Método de Sox, com a adição de 7 g de solução de amido.	85
Tabela B.9 – Teor de gordura absorvida no processo de fritura, obtida pelo Método de Sox, com a adição de 8 g de solução de amido.	85
Tabela B.10 – Teor de gordura absorvida no processo de fritura, obtida pelo Método de Sox, com a adição de 9 g de solução de amido.	86
Tabela B.11 – Teor de gordura absorvida no processo de fritura, obtida pelo Método de Sox, sem a adição de 10 g de solução de amido.	86

RESUMO

A dimensão e a importância dos serviços de alimentação na economia nacional cresceram numa média de 3% ao ano, ao longo dos últimos 10 anos, o que pode ser explicado pela mudança expressiva de ritmo e hábitos dos brasileiros, imposta pelo mundo moderno. Existe uma clara tendência de aumento da demanda do mercado em consumir produtos prontos para consumo, que é resultado da mudança do estilo de vida da população, a qual busca gastar menos tempo no preparo de alimentos. Em decorrência da preocupação de se reduzir o consumo de gorduras sem alterar a qualidade e as características do produto, tem-se procurado desenvolver substitutos que imitem as propriedades organolépticas e funcionais da gordura. Muitos alimentos, antes de serem submetidos ao processo de fritura, são empanados com farinha de milho, sendo que é nesta camada externa onde se concentra uma maior absorção de óleo. Alguns ingredientes têm sido adicionados aos revestimentos de produtos empanados visando à redução da quantidade de óleo absorvido. Dentre as diferentes gomas utilizadas como barreiras à gordura, o uso do amido, que possui a propriedade única de gelatinização térmica, foi alvo deste estudo. Neste trabalho foi estudada uma metodologia de tratamento da farinha de milho, utilizada como revestimento externo em produtos como steaks e nuggets, por meio da adição de uma solução de amido pré-gelatinizado. O efeito da quantidade da solução aquosa de amido gelatinizado sobre a retenção de óleo na farinha de milho frita foi avaliado. Diferentes quantidades de uma solução à base de amido (30% m/m) foram adicionadas a farinha de milho, mantendo-se a umidade constante. Os resultados mostraram que a condição que apresentou a menor absorção de óleo foi a adição de 3 g da solução gelatinizada de amido em 10g de farinha de milho, com uma redução de 21,5% na absorção de óleo, quando comparada com a absorção da amostra padrão, farinha de milho comercial. Esta condição continha solução suficiente para recobrir as partículas de farinha, favorecendo a formação de filme gelatinoso, que se comportou como uma resistência à entrada de gordura para o alimento, promovendo a selagem dos poros da farinha de milho. Assim, este trabalho contribui para o desenvolvimento de um produto frito menos calórico, possibilitando ao consumidor desfrutar o sabor único que o processo de fritura proporciona aos alimentos. Além disso, a implementação desse recobrimento à base de amido no processo industrial, ao reduzir a retenção de óleo durante a pré-fritura, consequentemente, reduzirá a quantidade de óleo que deverá ser reposta ao processo, reduzindo o custo operacional do mesmo.

Palavras-Chave: empanados, revestimentos, absorção de óleo, amido gelatinizado, fritura.

ABSTRACT

The importance of food service in the national economy grew at an average of 3% per annum over the past 10 years, which can be explained by the significant changes in the habits of the Brazilians, imposed by the modern world. There is a clear trend of increasing market demand for ready products for consumption, which is a result of changing population lifestyle. Many foods, before the frying process, are breaded with corn flour. This outer layer concentrates a higher oil absorption during the frying process. Some ingredients have been added to the coatings of breaded products to decrease the oil absorption. Among the different gums used as barriers to fat, the use of starch, which has the unique property of thermal gelation, was the target of this study. In this work, a method for treatment of corn flour was developed to reduce the oil absorption of steaks and nuggets, adding a solution of pregelatinized starch. The effect of the amount of gelatinized starch solution on the oil retention in fried corn flour was evaluated. Different amounts of a starch solution (30 %wt) were added to corn flour, keeping the humidity constant. The results showed that the addition of 3 g of gelatinized starch solution to 10 g of corn flour had the lowest oil absorption, with a reduction of about 21.5% in oil absorption when compared with the absorption of the sample without treatment. This condition contained enough solution to coat the flour particles, enhancing the formation of gelatinous film which acted as a resistance to entry of oil, promoting sealing the pores of the corn flour. Thus, this work contributes to the development of a less caloric fried product, enabling consumers to enjoy the unique flavor that the frying process provides to food. Furthermore, the implementation of starch-based coatings in the manufacturing process reduce the oil retention during the pre-frying, decreasing the amount of oil that should be returned to the process, and, consequently, process operational cost.

Keywords: breading, oil absorption, gelatinized starch, frying, nuggets.

I - INTRODUÇÃO

A dimensão e a importância dos serviços de alimentação na economia nacional podem ser quantificadas a partir das informações geradas pelo setor. O Brasil conta com 1,3 milhões de estabelecimentos em operação, distribuídos por todo o território nacional, compostos predominantemente por empresas de micro e pequeno portes, oferecendo ampla gama de produtos e serviços, adaptados às demandas locais. Ao longo dos últimos 10 anos, o número de estabelecimentos cresceu numa média de 3% ao ano, movimentando a economia do país (ABIA, 2009).

Considerando que 22% da venda de alimentos são destinadas aos serviços de alimentação no Brasil, enquanto que na Europa e nos Estados Unidos este percentual é de 40% e 50%, respectivamente, pode-se dizer que o mercado de refeições coletivas brasileiro tem grande potencial de expansão. Estima-se que o potencial teórico do segmento seja superior a 41 milhões de refeições diárias (ABIA, 2009).

Outro indicador que demonstra o crescimento do setor é que o gasto com alimentação fora do lar pode atingir 40% do total que os brasileiros gastam com alimentação, entre os anos de 2020 e 2025, segundo projeções da Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação. Para fins de comparação, este dispêndio foi de 25% em 2003, segundo dados da POF/IBGE (VIANA; SABIO, 2009).

O crescimento da participação de refeições coletivas na economia brasileira pode ser explicado pela mudança expressiva de ritmo e hábitos dos brasileiros, imposta pelo mundo moderno. A falta de tempo e o excesso de trabalho fazem com que as pessoas prefiram refeições rápidas ou alimentos de fácil preparação (FERREIRA, 2006).

Existe uma clara tendência de aumento da demanda do mercado em consumir produtos prontos para consumo, que é resultado da mudança do estilo de vida da população, a qual busca gastar menos tempo no preparo de alimentos. De 1999 a 2004, o consumo de empanados cresceu mais de 150%, e especificamente em 2004, o segmento de empanados cresceu 68%, segundo dados Nielsen. Esse aumento na demanda trouxe maior número de itens ofertados. O mercado de pedaços empanados de frango já movimentava cerca de 42

milhões de reais, com volume de 4400 toneladas, segundo dados da AC NIELSEN (2006), caracterizando um mercado muito competitivo.

Em decorrência da preocupação de se reduzir o consumo de gorduras, sem alterar a qualidade e as características do produto, tem-se procurado desenvolver substitutos que imitem as propriedades organolépticas e funcionais da gordura. A maioria dos ingredientes que promovem a substituição parcial ou total da gordura nos alimentos pode ser classificada em três principais categorias: substitutos à base de proteínas, substitutos à base de gordura (compostos sintéticos) e substitutos à base de carboidratos. De acordo com EASTMAN (1994), os derivados de vários tipos de amido têm-se mostrado os mais promissores substitutos de gordura.

Alimentos submetidos ao processo de fritura apresentam características sensoriais muito agradáveis, como odor, sabor, cor e textura, o que torna os alimentos mais atraentes para o consumo. Parte do espaço gerado pela evaporação de água é destinado à introdução do óleo no produto. No processo de fritura, o óleo apresenta dupla função, atuando como um meio transmissor de calor e, sendo incorporado como um novo ingrediente do produto frito (CELLA et al., 2002; DEL RÉ, 2003; POZO-DÍEZ, 1995 apud JORGE; LUNARDI, 2005).

Assim, como resultado da fritura, transformações são verificadas nas propriedades físico-químicas e sensoriais do alimento. Os produtos se tornam crocantes e mais agradáveis em sua textura ao serem mordidos. O processo de fritura também confere ao alimento cor dourada, brilhante e uniforme, melhorando sua apresentação e aumentando sabores e aromas, devido ao próprio óleo ou ao desenvolvimento de novos compostos. A conservação do produto é prolongada pela destruição de microrganismos e enzimas presentes nos alimentos e sua palatabilidade é aumentada como consequência da perda de umidade e ganho de gordura (BLUMENTHAL, 1996; GUILLAUMIN, 1988 apud JORGE; LUNARDI, 2005).

No entanto, o processo de fritura aumenta a quantidade de óleo no alimento tornando-o, assim, uma fonte mais concentrada de energia. Este fato isolado é benéfico, assim como a melhoria da qualidade sensorial do alimento. A soma destes dois fatores leva a um maior consumo de calorias na dieta e, consequentemente, a um aumento do peso corpóreo, o que sob alguns aspectos pode ser indesejável (BERGER, 1984 apud JORGE; LUNARDI, 2005).

Os possíveis riscos à saúde envolvidos no consumo de óleos aquecidos ou oxidados como predisposição à aterosclerose, ação mutagênica ou carcinogênica têm sido, há muitos anos, comentados e revisados (KUBOW, 1990 apud JORGE; LUNARDI, 2005).

Muitos alimentos, antes de serem submetidos ao processo de fritura, são empanados com farinha, pão e ovo, sendo que é nesta camada externa onde se dão as reações que conferem características especiais ao produto frito, ao mesmo tempo em que funciona como uma barreira protetora do alimento e é onde se produz uma maior absorção de óleo, ainda que a quantidade absorvida dependa do tipo de camada (OLEWNIK; KULP, 1990 apud JORGE; LUNARDI, 2005).

Um dos principais problemas associados ao consumo de alimentos empanados é a quantidade considerável de óleo absorvido durante as operações de pré-fritura e fritura. O que motiva os estudos para reduzir seu teor de óleo. Muitos fatores afetam a captação de óleo: a qualidade do óleo; temperatura e tempo de fritura; período de refrigeração; forma, composição e porosidade do produto (FISZMAN, 2009).

Os novos desafios para a área de alimentos empanados são obter produtos de forno de microondas, revestimentos que irão manter a textura do alimento por um período de tempo de mais prolongado, revestimentos com gordura reduzida, redução dos teores de sódio e produtos substitutos da carne, dentre outros. A ampla gama de possibilidades faz com que seja necessário empregar processos cada vez mais rígidos e controlados (FISZMAN, 2009).

A adição de alguns ingredientes ao revestimento já foram testados quanto à redução da quantidade de óleo absorvido pelo alimento em produtos fritos empanados. Dentre as diferentes gomas utilizadas como barreiras à gordura, o uso do amido, que possui a propriedade única de gelatinização térmica, foi alvo deste trabalho.

O objetivo deste trabalho foi estudar a influência da adição de uma solução de amido pré-gelatinizado à farinha de milho, utilizada como revestimento externo em produtos empanados como steaks e nuggets, visando à redução da absorção de óleo durante a etapa de pré-fritura. Como objetivos específicos desta dissertação podem ser citados:

- Determinar as curvas de umidades das amostras: farinhas de milho tratadas com solução de amido gelatinizado, farinha de milho comercial e amido comercial;
- Simular os parâmetros industriais da etapa de pré-frita de produtos empanados;

- Avaliar a condição de menor absorção de óleo dentre às amostras de farinha de milho impregnadas com diferentes quantidades de solução de amido pré-gelatinizado, com concentração constante (30g de amido/100 g de solução)

A seguir é apresentada uma breve revisão bibliográfica que contêm alguns dos trabalhos mais relevantes da literatura sobre o processo de fritura e coberturas adicionadas aos alimentos para torná-los mais saudáveis, reduzindo o índice de absorção de óleo durante a fritura.

II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O processo de fritura ou imersão em óleo é um processo antigo e popular, original da região do Mediterrâneo, devido à influência do azeite (VARELA, 1988 apud BOUCHON, 2006), datado por volta de 1600 a.c.. Inúmeros alimentos processados no mundo todo passam pela etapa de fritura, pois, além de cozinar, fritar oferece sabores e texturas únicas que melhoram a palatabilidade global. A seguir, o processo de fritura é descrito, bem como os fenômenos de transporte relacionados. Além disso, os trabalhos mais relevantes sobre os mecanismos de absorção de óleo são apresentados, incluindo as técnicas de pré-tratamento empregadas na redução de absorção de óleo em alimentos fritos.

2.1 O processo de fritura

Fritar em óleo pode ser definido como um processo para o cozimento dos alimentos, por imersão em um líquido comestível, a uma temperatura acima do ponto de ebulição da água FARKAS (1994) apud BOUCHON (2006). A faixa de temperatura de frituras pode variar entre 130 ° C a 190 ° C, mas a faixa de temperatura mais comum é entre 170-190 ° C.

A fritura imersa é um processo complexo que envolve a transferência simultânea de calor e massa, resultando em um fluxo contra corrente de bolhas de vapor de água e óleo na superfície do alimento. Além disso, a fritura induz alterações físico-químicas de importantes componentes dos alimentos e significativas mudanças micro-estruturais (SINGH, 1995 apud BOUCHON, 2006). A formação de uma estrutura composta proporciona aos alimentos fritos várias características desejáveis: alimento seco, poroso, quebradiço, com crosta externa, interior ou núcleo com maior umidade e cozido.

A crosta é o resultado de várias alterações que ocorrem principalmente no nível celular e subcelular e está localizada nas camadas periféricas do produto. Dentre as mudanças químicas e físico-químicas que ocorrem na crosta estão: formação de uma superfície rugosa devido à liberação de material intracelular quando o produto é cortado, gelatinização e consequente desidratação do amido, desnaturação de proteínas, ruptura da adesão celular, a evaporação da água e rápida desidratação do tecido e, finalmente, a absorção de óleo em si.

Em geral, o que distingue o processo de fritura do de fervura são a desidratação, o uso de altas temperaturas e a absorção de óleo. Durante o cozimento, os coeficientes de transferência de calor são inferiores aos coeficientes relativos ao processo de fritura, e embora não ocorra desidratação da superfície e formação de crostas durante o cozimento, não há nenhuma captação de óleo. Além disso, as altas temperaturas atingidas durante a fritura (normalmente mais de 150 ° C) permitem a inativação de enzimas, redução intercelular do ar e destruição de microrganismos, incluindo patógenos (AGUILERA, 1997 apud BOUCHON, 2006).

2.1.1 Produtos fritos

Uma grande variedade de produtos alimentícios é usada para confeccionar produtos fritos com diferentes formatos, incluindo carnes, produtos lácteos, cereais e legumes. Vários produtos fritos, tais como batata frita, *donuts* e alimentos empanados, podem ser encontrados no mercado. Portanto, a tecnologia de fritura é importante para muitos setores da indústria de alimentos, incluindo: fornecedores de óleos e ingredientes, redes de *fast-food* e cadeias de restaurantes, produtores industriais fritos, parcialmente fritos, lanches e fabricantes de equipamentos de fritura (BLUMENTHAL, 1991 apud BOUCHON, 2006).

Um dos parâmetros de qualidade mais importante de produtos fritos é a quantidade de óleo absorvido durante o processo de fritura (BOUCHON; PYLE, 2004). O excesso de consumo de gorduras contribui para o desenvolvimento de doença cardíaca coronária e, talvez, o câncer de mama, do cólon do útero e próstata (BROWNER et al., 1991 apud BOUCHON, 2006). Portanto, as tendências de consumo estão se movendo em direção à implementação de dietas com alimentos saudáveis e produtos de baixo teor de gordura, criando a necessidade de reduzir a quantidade final de óleo nos produtos. Apesar das forças de mercado, o consumo de salgadinhos aumenta em países desenvolvidos e em desenvolvimento, e produtos fritos ainda contêm grandes quantidades de gordura. O teor de óleo total de um lanche rápido, tais como batata chip varia entre de 5% (*chips* congelados) para 40% (batatas fritas).

A venda de batata frita, salgadinhos e petiscos sem gordura, está aumentando, mas, como esses produtos são assados em vez de fritos, eles não apresentam o mesmo sabor e textura característicos das frituras e, portanto, a aceitação dos consumidores é baixa. No entanto, os petiscos de baixo teor de gordura, como batata frita de pacote, estão adquirindo maior aceitação. Estes produtos são geralmente secos antes de fritar e procura-se desenvolver

um produto com gordura suficiente para conferir as propriedades organolépticas desejadas (BOUCHON, 2006).

2.1.2 Equipamentos de fritura

Os equipamentos de fritura operam basicamente em:

- batelada: usado principalmente em pequenas plantas e restaurantes
- processo contínuo: usado em escala industrial para processar grandes quantidades do produto.

2.1.2.1 Equipamentos de fritura em batelada

A fritadeira batelada consiste em uma ou mais câmaras, com uma capacidade de óleo entre 5 e 25 l. O óleo pode ser aquecido diretamente por meio de uma resistência elétrica que pode ser instalada a poucos centímetros acima do fundo da frigideira. A fritadeira também pode ser aquecida por chamas a gás diretamente abaixo do fundo do recipiente (ROSSEL, 1998, apud BOUCHON, 2006). Recentemente, desenvolveu-se fritadeiras de alta eficiência utilizando queimadores turbo-jato infravermelhos, que reduz o consumo de energia de 30-40% comparado às fritadeiras a gás com a mesma capacidade (MOREIRA et al., 1999). As fritadeiras bateladas modernas são construídas com aço inoxidável de alta qualidade, bem como qualquer outra instalação da válvula ou elemento de aquecimento, para evitar a oxidação catalítica.

Normalmente, os operadores são os responsáveis por mergulhar e retirar as cestas manualmente, mas os novos equipamentos poderão incluir um sistema de cesta com elevador que sobe automaticamente quando o tempo de fritura é concluído.

A remoção de restos de comida provenientes da fritura e a filtragem de óleo essencial é uma prática que precisa ser realizada diariamente, a fim de aumentar a vida útil do óleo e evitar sua oxidação e perda de sabores. Novos equipamentos também podem ter uma bomba de filtração acoplada à unidade, para a remoção de sedimentos (KOCHHAR, 1998 apud BOUCHON, 2006).

Alguns estabelecimentos, especialmente aqueles dedicados a fritura de frango, preferem usar fritadeiras à pressão, que reduzem consideravelmente o tempo de fritura e

proporcionam ao alimento um alto teor de umidade, cor e aparência uniforme (MOREIRA et al., 1999).

2.1.2.2 Equipamentos para fritura em processo contínuo

Nas unidades de produção em grande escala, o uso de fritadeiras em processo contínuo é automático. Elas consistem em um recipiente onde o óleo de fritura é mantido na temperatura desejada, um transportador que desloca o produto através da unidade e um sistema de extração que elimina os gases, composto principalmente por água e uma fina névoa de ácidos graxos.

O óleo pode ser aquecido diretamente por meio de um aquecedor elétrico ou uma bateria de queimadores a gás, ou indiretamente, por bombeamento de um fluido térmico aquecido nos tubos imersos no banho de óleo. Algumas fritadeiras são equipadas com trocadores de calor externo. Nesses sistemas, o óleo é removido continuamente na extremidade superior do tanque, bombeado através de uma unidade de filtro e, em seguida, passa através de trocador de calor, antes de ser reciclado ao final da recepção do recipiente, como mostra a Figura 2.1.

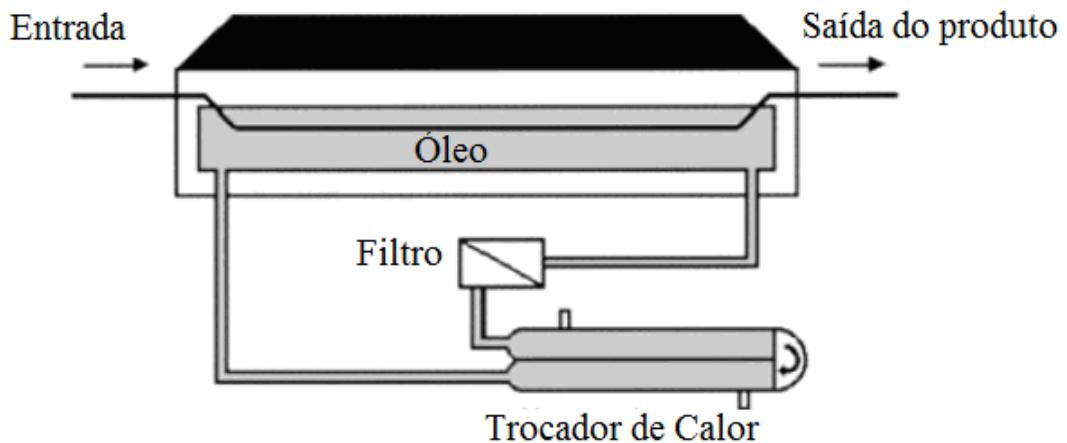


Figura 2.1 – Esquema de fritadeira com sistema de troca de calor externo e unidade de filtro de óleo.

FONTE: BOUCHON (2006)

Alguns fritadeiras contínuas são concebidos com múltiplas zonas de aquecimento ao longo da fritadeira, que podem ser ajustadas separadamente, proporcionando um controle de temperatura ideal para melhorar a qualidade do produto. Como o óleo é absorvido pelo

produto frito, novas porções de óleo tem que ser adicionados continuamente. A quantidade de óleo in natura adicionado ao recipiente define o tempo de renovação do óleo, segundo a Equação 1 (KOCHHAR, 1998 apud BOUCHON, 2006).

$$t_R = \frac{\text{massa de óleo na fritadeira}}{\text{massa de óleo adicionada por hora}} \quad (1)$$

em que t_R representa o tempo necessário para substituir todo o óleo contido na fritadeira, que normalmente, é de 3 a 8 horas (KOCHHAR, 1998 apud BOUCHON, 2006).

As fritadeiras industriais têm capacidades de óleo variando de 200 kg a 1000 kg e podem produzir até 25000 kg/h de chips e 2500 kg/h de batatas fritas. Alguns dos principais fabricantes de equipamentos de fritura são Florigo BV, na Holanda e Stein nos Estados Unidos. Na última década, o sistema de fritura contínuo à vácuo, desenvolvido pela Florigo B.V. durante a década de 1960 foi re-introduzido. O equipamento foi criado pela primeira vez para produzir chips de alta qualidade, mas, devido à melhoria da tecnologia de branqueamento e qualidade das matérias-primas, o uso dessa tecnologia quase desapareceu (MOREIRA et al., 1999; BANKS, 1996 apud BOUCHON, 2006). Atualmente, a tecnologia de fritura a vácuo é usada para manter as cores, sabores e nutrientes em produtos com alto valor agregado, tais como legumes e frutas, já que nesse processo a fritura é realizada a temperaturas muito mais baixas.

2.2 Processo de fabricação de empanados

Tecnologicamente, o REGULAMENTO TÉCNICO DE IDENTIDADE E QUALIDADE DO MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (Instrução Normativa nº 6, de 15/02/2001) define *empanados* como: produto cárneo industrializado, obtido a partir de carnes de diferentes espécies animais de abate, acrescido de ingredientes, moldado ou não, e revestido de cobertura apropriada que o caracterize. Pode ser cru, semi-cozido, ou cozido, ou semi-frito ou frito, ou outros.

Como ingredientes obrigatórios, estão relacionadas as carnes de diferentes espécies de animais de abate, com cobertura apropriada. Como ingredientes opcionais, estão listadas as

proteínas de origem vegetal e/ou animal (sendo máximo de 4% de proteínas não cárneas na forma de proteína agregada), aditivos intencionais, condimentos, aromas e especiarias, farinhas, féculas e amidos, vegetais, queijos, molhos e produtos cárneos industrializados.

Em relação especificamente aos pedaços empanados de frango, os produtos disponíveis no mercado, apresentados em embalagens cartucho, são moldados, pré-fritos, podendo ou não ser totalmente cozidos. Em termos de processo, os ingredientes são misturados às carnes, sendo então moldados, seguido das etapas de aplicação da primeira farinha (*predust*), *batter* (solução responsável pela adesão entre a carne e o sistema de cobertura), farinha de empanamento (*breading*), pré-fritura, cozimento e congelamento. As inúmeras variáveis existentes no processo tecnológico e o mercado extremamente competitivo exigem um produto muito bem posicionado em termos de preço e qualidade.

O fluxograma referente ao processo de fabricação de empanados encontra-se na Figura 2.2.

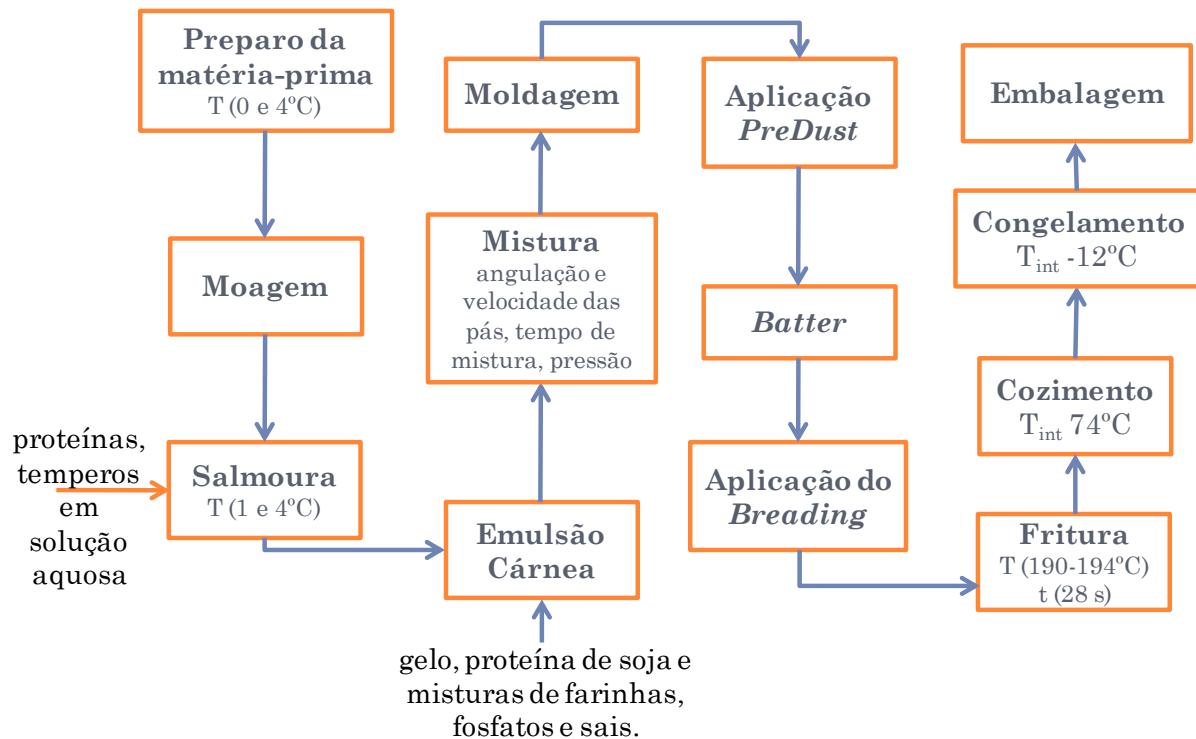


Figura 2.2 – Fluxograma referente ao processo de fabricação de empanados

2.2.1 Preparo das matérias-primas

As matérias matérias-primas para a fabricação de Steaks e nuggets são armazenadas na forma de blocos congelados de 15 ou 20 Kg. Comumente são utilizadas nessa família de produtos: peito de frango sem pele e sem osso, coxa e sobrecoxa de frango com ou sem pele e sem osso e pele de frango.

É importante observar a temperatura da matéria-prima no recebimento e uso, de forma a garantir integridade das fibras do músculo após a moagem da carne de peito, coxa e sobrecoxa. Temperaturas ideais estão entre 0 e 4°C. Temperaturas muito baixas (negativas) devem ser evitadas para garantir a ótima extração de proteína da carne durante a mistura, garantindo um resultado final de um produto com presença de fibras de carne bem ligadas, com consistência firme.

2.2.2 Moagem das matérias-primas

Utiliza-se disco de moagem de acordo com a indicação contida no roteiro de processo de cada produto específico.

Quanto maior o diâmetro dos orifícios do disco de moagem, maior será a aparência de músculo íntegro no produto final. Discos com orifícios de diâmetro pequeno (por ex.: 3 mm) são utilizados para matérias primas que possam prejudicar a aparência da massa cárnea do produto final.

Os discos de moagem devem estar sempre afiados para garantir que a matéria prima manterá seu padrão de moagem.

2.2.3 Salmoura

A salmoura é uma mistura de ingredientes sólidos (sais, proteínas, temperos e demais ingredientes) solubilizadas em água.

Essa salmoura deverá ser adicionada a carne para facilitar a ligação entre as proteínas devido a ação dos sais (cloreto de sódio e polifosfatos) presentes em sua composição. A ordem de adição dos ingredientes é importante para garantir a boa dispersão de todos os componentes. Ingredientes de difícil solubilização, como fosfatos e proteína isolada, devem

ser adicionados no início do processo. A mistura com outros ingredientes de fácil solubilização (sal, dextrose) também ajuda a dispersar e evita a formação de grumos.

A salmoura deve ser preparada sempre com água gelada (1 a 4°C) para garantir uma melhor homogeneidade durante da mistura, devendo ser utilizada imediatamente para evitar que os ingredientes dispersos se precipitem.

2.2.4 Emulsão/Massa Fina

Para a elaboração de uma emulsão cárnea são utilizados equipamentos específicos como emulsificadores, moinhos coloidais ou emulsificadores contínuos, responsáveis pela cominuição e mistura das carnes, gorduras, água, sal e demais ingredientes, conferindo uniformidade ao produto em relação ao tamanho das partículas e a distribuição dos ingredientes.

Para os nuggets e steaks, a temperatura de processamento deve ser mantida próxima de 0°C. A massa cárnea poderá ser mais ou menos refinada, dependendo do tempo de residência e da velocidade das facas.

A emulsão se forma a partir do rompimento da estrutura fibrosa dos músculos, que aumenta a exposição das proteínas com poder de liga contida dentro das células do músculo, que estão em estado solúvel (estado GEL). Com a presença de sal, água e alguns aditivos, ocorre a solubilização e consequentemente o inchamento das mesmas, pela absorção de água, produzindo uma “massa” homogênea e estável (emulsão).

No processamento a ordem de adição dos ingredientes se inicia com a Trituração da pele até que se torne uma massa homogênea e sem pedaços grandes, em seguida adiciona-se a parte cárnea e também se promove a Trituração para que as proteínas da carne se exponham. A partir daí, adicionam-se gelo ou água, proteína de soja e misturas de pós contendo farinhas, fosfatos e sais.

A adição dos sais é importante na estabilidade das emulsões e devem ser adicionados após o rompimento da estrutura fibrosa dos músculos e a exposição das proteínas para promover a solubilização das mesmas.

Os polifosfatos, por elevarem o pH, têm ação sinérgica com o sal, potencializando a ação da solubilização das proteínas.

2.2.5 A mistura

O objetivo da etapa de mistura é a homogeneização dos ingredientes - temperos e funcionais - adicionados à carne, bem como extração da proteína da carne a fim de garantir capacidade de ‘liga’ entre as partículas menores permitindo formato, textura e peso adequado do produto final.

A ordem de adição dos ingredientes influencia na qualidade final da massa a ser moldada, deve promover uma boa dispersão dos ingredientes.

A angulação entre as pás do misturador, velocidade das pás, o tempo de mistura, a presença e pressão negativa (vácuo), devem ser controlados a fim de atingir a textura de carne desejada e completa extração da proteína. O tempo de mistura é finalizado quando se obtém a liga na massa (DILL et al., 2009).

2.2.6 Moldagem

O processo de moldagem consiste na formatação da massa cárnea, proveniente do processo de mistura, em uma peça com dimensões definidas.

As moldadeiras comumente utilizadas tem a característica de preencher a placa de moldagem com a massa cárnea. A seguir, segue o exemplo de um modelo de moldadeira utilizada para formação. O processo de moldagem começa com a alimentação do funil de enchimento através de elevadores. A massa é transportada para a câmara de distribuição através de parafusos sem fim. Dentro da câmara de distribuição, o produto é pressionado para dentro da placa de moldagem através de blocos de compressão. A placa preenchida com a massa é colocada na posição de expulsão onde os expulsores pressionam o produto para fora da placa de moldagem em cima da esteira transportadora. A Figura 2.3 representa um esquema lateral das partes da moldadeira (DILL et al., 2009).

A pressão de moldagem deve ser controlada, pois ela interfere diretamente na condição do molde da peça. Caso a pressão esteja muito alta, a peça moldada pode ficar deformada, com rebarbas e ainda pode haver liberação de água durante a moldagem, resultando num produto sem as características finais desejadas. Caso a pressão esteja muito baixa, as cavidades da placa de moldagem podem não ser preenchidas e as peças moldadas podem sair deformadas.

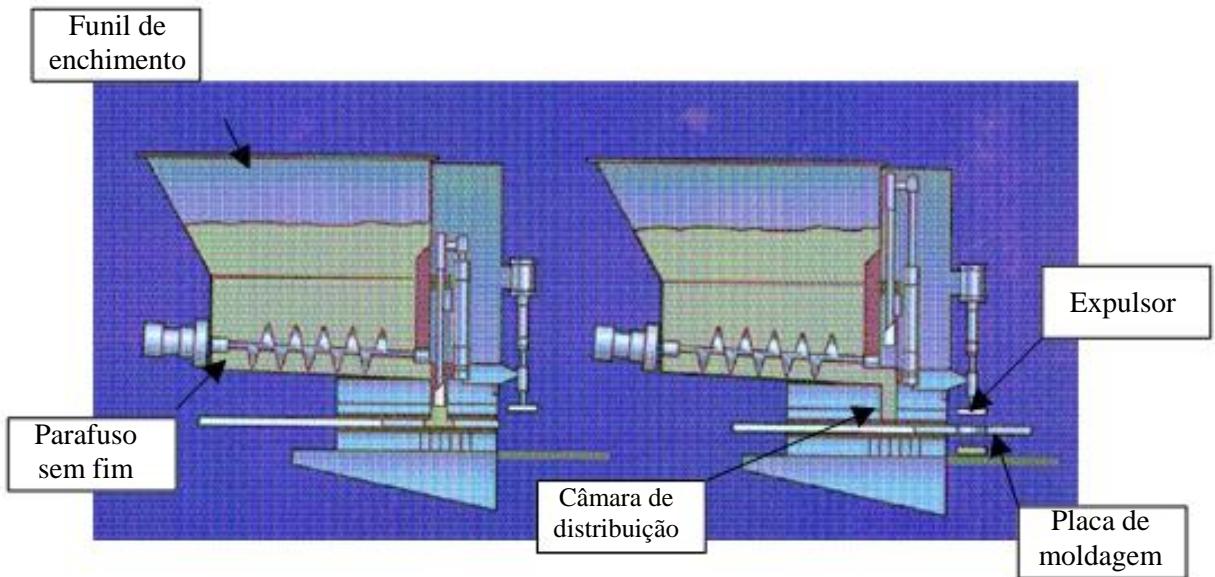


Figura 2.3 – Esquema lateral das partes da moldadeira.

FONTE: DILL et al. (2009).

Atenção também deve ser dada a velocidade da rosca no funil de alimentação, pois seu movimento gera trabalho mecânico sobre a massa cárnea podendo, em velocidades excessivas reduzir a integridade das fibras visíveis no produto acabado.

Por se tratar de uma mistura cárnea que contém massa fina, a temperatura de alimentação deve ser estável e constante.

Quando a massa está quente, as peças moldadas apresentam massa superior à esperada devido ao aumento da densidade da massa cárnea e também pode gerar defeitos de formato durante as transferências de esteiras devido à perda de robustez da peça.

Caso a massa esteja muito fria, as cavidades da placa de moldagem podem não ser preenchidas uniformemente gerando peças com formatos defeituosos.

Durante a moldagem os parafusos sem-fim giram para alimentar a câmara de distribuição. A placa de moldagem pode ser umedecida com o auxílio de tubos de pulverização. Essa umidade deve ser mínima, apenas para garantir que a peça se solte por completo da placa de moldagem.

Caso haja água acumulada na superfície do produto moldado, podemos ter acúmulo de *predust* (1ª farinha de empanamento) no produto empanado podendo gerar peças com defeitos. Esta água acumulada deve ser retirada das peças com o auxílio de sopradores.

2.2.7 Pré-enfarinhamento

Pré-enfarinhamento ou *Predust* é a primeira camada de um sistema de cobertura de empanamento. Seu objetivo principal é promover a ligação entre o substrato e o *batter*, absorver a umidade da superfície do substrato, além de favorecer a manutenção de aroma e sabor característicos (UEMURA; LUZ, 2003). Esta etapa consiste da aplicação de uma fina camada de cobertura de maneira a distribuí-la uniformemente sobre a superfície das peças, seguida da retirada do excesso pela ação de sopradores e vibradores.

O *predust* também pode ser um regulador de rendimento e em muitos casos pode ser um carreador de condimentos. Pode conter farinha de trigo, farinha de rosca, temperos, agentes levedantes, proteínas solúveis como albumina e glúten, além de ingredientes voláteis de sabor que impedem que estes sejam facilmente eliminados durante os processos de cozimento (BORTOLUZZI, 2006).

Normalmente a superfície dos alimentos é irregular, podendo ocorrer problemas de aderência da cobertura com o substrato, o que é indesejável às características de qualidade do produto final. A aplicação de *predust*, que funciona como uma ponte físico-química entre a carne e o *batter* (efeito de capilaridade), evita a separação de uma camada e outra, ou seja, promove uma melhor adesão entre as camadas e o substrato, pois forma uma camada absorvente que possibilita a adesão com o *batter*, conferindo à cobertura mais uniformidade e melhor textura (VIANA, 2005; SHINSATO et al., 2002)

2.2.8 Preparo do *batter*

Batters e *breadings* estão ganhando mais importância, pois contribuem significativamente para o aumento do valor agregado dos produtos (SAGUY et al., 1998 apud BOUCHON, 2006), no entanto, a maioria das informações sobre este assunto não são de domínio público (SAGUY; PINTHUS, 1995, apud BOUCHON, 2006).

Batters são misturas de líquidos contendo principalmente água, farinha e tempero, mas suas formulações variam muito. São responsáveis pela aderência do sistema principal de cobertura, *breading*. Muitos ingredientes dessa massa são insolúveis à temperatura ambiente ou sob refrigeração. Uma viscosidade adequada é necessária para mantê-los em suspensão e para evitar a estratificação de cátions indesejáveis. A incorporação de amido de milho nativo ou farinha tem sido uma maneira conveniente para aumentar o teor de sólidos, sem efeito significativo na viscosidade massa.

O *batter* é um sistema complexo, que sofre várias mudanças durante a fase de transição no processo e na estocagem. As propriedades térmicas desse sistema refletem essas mudanças e têm efeitos combinados nas características finais do produto. Essas variações nas propriedades térmicas e devem-se principalmente à presença de separação de fases. Assim, carboidratos, lipídeos, proteínas sal água e outros ingredientes funcionais podem todos existir em fases separadas ou ficarem em fases separadas uns dos outros. A água é o fator chave que influencia o fenômeno de transição de fase como a gelatinização, que ocorre durante o cozimento e a transição vítreia, que tem lugar durante o congelamento (XUE, NGADI; 2007).

Muitos dos parâmetros sensoriais determinados em produtos empanados referem-se a fatores relativos à aparência externa da crosta, que são difíceis de quantificar por meio de métodos instrumentais: bolhas, porosidade, lisura, plenitude de integridade, cor, uniformidade da cor, aparência geral, adesão do revestimento. Outros parâmetros se referem às propriedades de qualidade do produto quando ele é consumido: crocância do revestimento, aderência do revestimento, retenção de óleo, suculência, sabor, dentre outros.

As propriedades reológicas das massas para fritura têm uma influência decisiva na determinação da qualidade final de alimentos empanados, influenciando na adesão, na aparência e textura, bem como no conteúdo final de umidade e óleo.

A adesão do revestimento ao produto também apresenta alta relação com a viscosidade aparente do *batter* à base de farinha (HSIA et al., 1992 apud SANZ; SALVADOR, 2009). Na fabricação de nuggets de frango, a redução da quantidade de água na massa conduz à um aumento na viscosidade do *batter*, que leva à uma melhor aderência e diminuição das perdas por cozimento (CUNNINGHAM; TIEDE, 1981 apud SANZ; SALVADOR, 2009). Outros passos no processo de fabricação de alimentos empanados são a pré-fritura e fritura final. A viscosidade do *batter* influencia a liberação do vapor produzido devido à evaporação da água, que têm um impacto sobre o volume final, a textura, porosidade e absorção de óleo durante a fritura. O aumento da porosidade foi correlacionado com a captação de óleo durante a fritura (PINTHUS et al., 1995 apud SANZ; SALVADOR, 2009). Em alguns casos, um aumento na viscosidade tem sido associado com diminuição da absorção de óleo durante a fritura. Isso ocorre quando os hidrocolóides são incluídos na formulação da massa.

A preparação de *batter* é feita pela mistura a frio de pós e água gelada sob agitação contínua em tanques encamisados com glicol, como apresenta a Figura 2.4. Os pós devem ser adicionados aos poucos para evitar formação de grumos. A quantidade de pó e água a adicionar é regulada pela viscosidade do *batter*.

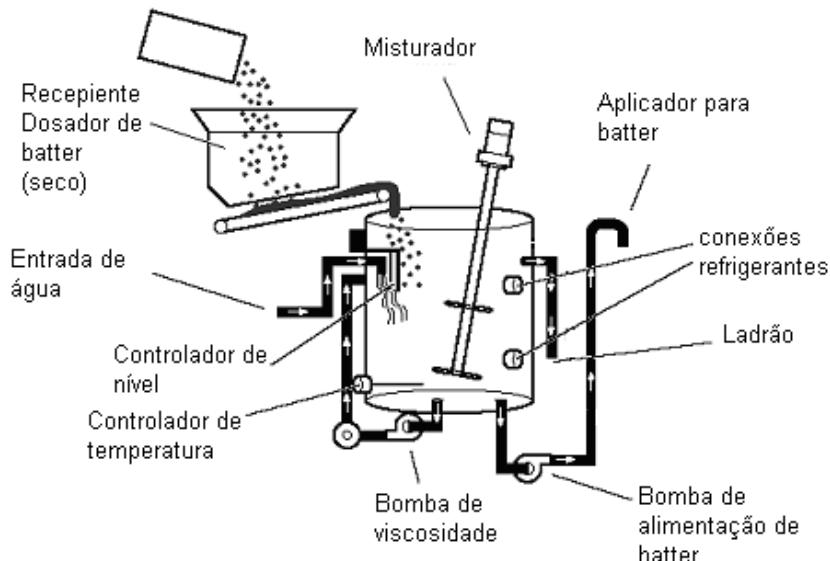


Figura 2.4 – Equipamento de preparo de *batter*.

FONTE: FMC Food Tech Stein (2003).

Viscosidade, no caso de empanados está associada ao *batter* “grosso” ou “ralo”. Na prática, a viscosidade é quantificada com o tempo que o *batter* leva para escoar por um copo com um furo no fundo, em que o volume, altura e tamanho de furo são padronizados, esta linguagem é internacionalmente conhecida. *Batters* viscosos (grossos) tem maior adesão à farinha, *batters* menos viscosos (finos) tem menores agregações. Os equipamentos de preparo de *batter* são alimentados continuamente com água e pó, e possuem sensores que medem continuamente a viscosidade e acionam a entrada de contínua de água e de pó conforme necessidade para manutenção do valor estabelecido de viscosidade.

Existem dois sistemas comuns de aplicação de *batter*: imersão e cascata (overflow), representados pelas Figuras 2.5 e 2.6, respectivamente.

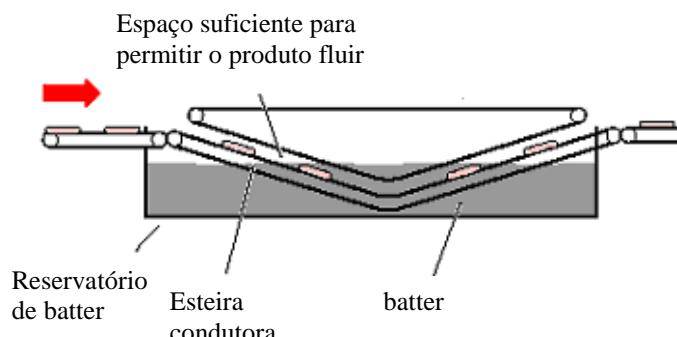


Figura 2.5 – Equipamento de aplicação de *batter* por imersão

FONTE: (Catálogo do fornecedor: FMC Food Tech Stein, 2003).

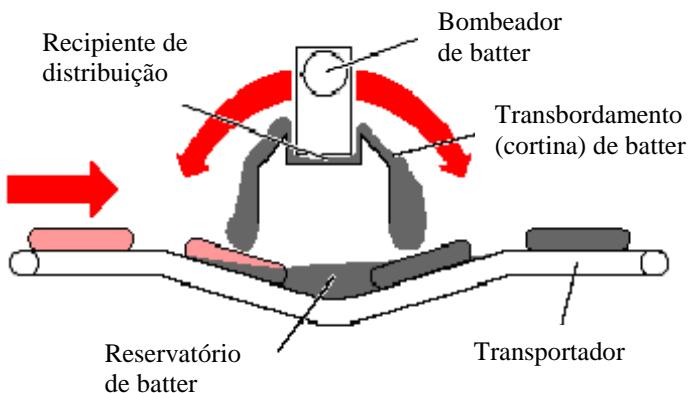


Figura 2.6 – Equipamento aplicação de *batter* em cascata

FONTE: (Catálogo do fornecedor: FMC Food Tech Stein, 2003).

Observa-se na Figura 2.5 que o equipamento de aplicação por imersão dispõe de uma esteira superior para conduzir as peças. Devido à inclinação da esteira ocorre a formação de uma pequena camada responsável por cobrir a parte de baixo das peças.

De acordo com a Figura 2.6, nos aplicadores do tipo cascata, observa-se que a camada formada deve ser rasa para evitar que as peças flutuem e desalinhem, já que não existe a esteira superior para conduzir a peça.

2.2.9 Aplicação do 2º sistema de cobertura: “*Breading*”

Esta etapa consiste da aplicação de uma camada de cobertura de maneira a distribuí-la uniformemente sobre a superfície das peças, seguida da retirada do excesso pela ação de sopradores e, ocasionalmente, vibradores. Nesta etapa podem ser aplicados vários tipos de farinha de cobertura: farinhas finas como trigo e arroz, misturas de farinha fina com farinha de rosca (*crumbs*) e temperos, farinhas grossas (milho), farinhas tipo *cracker meal* (simulam biscoito *cracker*), entre outros. A última farinha é a principal responsável pela aparência do empanado, logo a uniformidade da cobertura é fundamental. Além disso, é sempre esta camada que responde pela crocância do produto.

A quantidade de farinha agregada é diretamente proporcional à quantidade de gordura que será agregada na etapa posterior (pré-fritura). Toda a farinha aplicada deve estar aderida no produto, não deve haver carregamento de farinha solta sobre a peça. A retirada do excesso de farinha é crítica. Quando ocorre carregamento, aumenta a geração de borra no fritador e a perda de gordura (carreada pela farinha).

Outro ponto relevante quando uma farinha mais grossa (milho) é empregada é a quebra da farinha no equipamento. Os equipamentos para farinha grossa normalmente são construídos com o mínimo possível de roscas de retorno e transferências suaves, conforme a Figura 2.7.

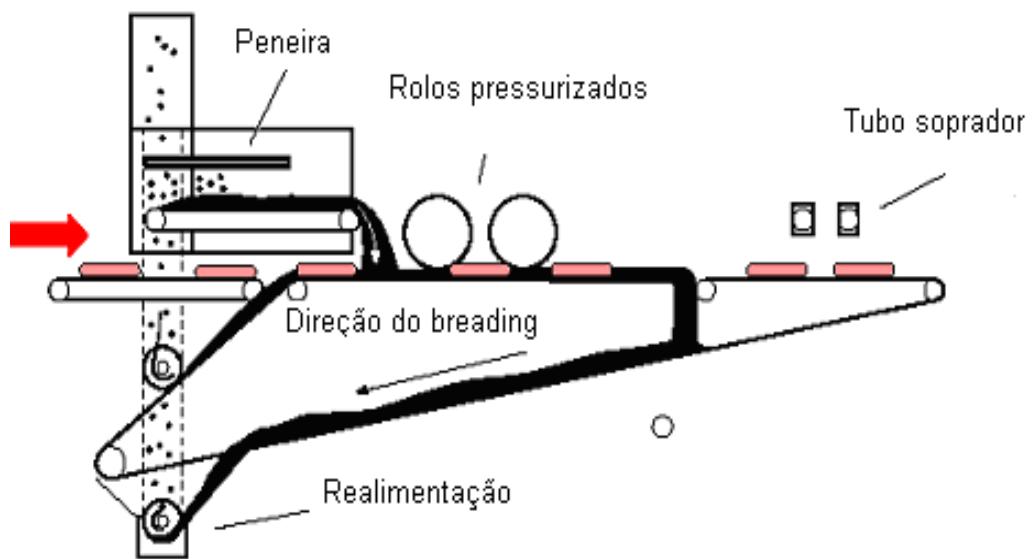


Figura 2.7 – Equipamento de aplicação de *breading*

FONTE: Catálogo do fornecedor: FMC Food Tech Stein (2003).

Nos aplicadores que têm esta funcionalidade, é importante também ajustar as velocidades das roscas de retorno da farinha para a mais lenta possível, minimizando o cisalhamento da farinha.

2.2.10 Pré-fritura

Esta etapa consiste na fritura contínua do produto, por meio da imersão em óleo vegetal. O principal objetivo desta etapa é a ‘selagem’ da superfície (sistema de empanamento), coagulando proteína, gelatinizando amidos, vaporizando a água, formando cor dourada (reação de Maillard), absorvendo óleo, sem cozinhar o produto como um todo. Além de evitar a perda de aromas e água do produto na etapa posterior de cozimento, também visa enrijecer o sistema de cobertura para garantir estrutura e resistência mecânica ao produto. A pré-fritura deve ser realizada a altas temperaturas ($>190^{\circ}\text{C}$) por um curto período de tempo

(cerca de 28 segundos de imersão) de modo a evitar o excesso de absorção de óleo e texturas borrachentas.

A pré-fritura é um processo dinâmico, em que a água do produto evapora e é substituída por gordura da fritadeira. Num sistema bem ajustado, apenas parte da água superficial do produto (água do *batter*) se evapora, não chegando a haver perda de água da carne. Os fatores que influenciam a quantidade de gordura absorvida na fritadeira são:

- Tipo de farinha de cobertura: farinhas mais expandidas, como as de milho, funcionam como esponjas, com poros que são preenchidos de gordura durante a pré-fritura aumentando a absorção. Já farinhas pouco expandidas, como as do tipo cracker, têm uma matriz mais fechada, e absorvem menos gordura.
- Temperatura do óleo: quanto mais alta a temperatura, menor a absorção de gordura; usualmente trabalha-se na faixa de 190 a 194°C para a maioria dos empanados.
- Tempo de fritura: quanto mais curto o tempo de fritura, menor a absorção de gordura;
- Viscosidade do *batter*: *batters* de baixa viscosidade têm mais água livre, que resulta em mais água na superfície do produto para ser “trocada” por gordura;

Durante a fritura o óleo é exposto a condições extremas de temperatura, umidade (que sai do produto frito), turbulência (exposição ao oxigênio) e ao contato com partículas do produto e resíduos dos sistemas de coberturas (farinhas). Tais condições promovem a degradação do óleo por um processo de oxidação que leva à formação de radicais livres e aumento da acidez do óleo. Quanto mais alta a temperatura de trabalho, mais rápida a degradação do óleo. Esta reação causa sabor de ranço e cor escura no produto, e por esta razão a gordura da fritadeira deve ser amostrada periodicamente para medida da acidez. Óleo de alta acidez nunca deve ser devolvido em tanque contendo óleo novo, sob risco de contaminar e acelerar a degradação deste (reação em cadeia). Nunca se deve descartar óleo de fritura no ambiente por causa do impacto ambiental.

2.2.11 Cozimento

Esta etapa tem por objetivo eliminar microrganismos patogênicos e reduzir a carga de microrganismos deterioradores. O cozimento visa à segurança alimentar dos empanados. Todos os empanados devem atingir no mínimo 74°C no centro da peça. A temperatura

máxima de 80°C para o forno também deve ser respeitada para garantir o rendimento e evitar estufamentos e rachaduras no produto.

Durante o cozimento pode ocorrer perda de peso do produto, e por isto que a maioria dos fornos de empanados tem o recurso de injeção de vapor, que mantém o ambiente úmido e minimiza a quebra durante o cozimento. As formas de controle da quantidade de vapor injetada no forno são várias: ponto de orvalho (Dew point), umidade relativa %, ou, de forma menos precisa, o percentual de abertura da válvula de vapor. Os parâmetros de controle nos fornos são:

- Temperatura do forno (°C)
- Tempo de retenção ou velocidade da esteira (minutos)
- Umidade relativa (%), ou abertura de válvula (%), ou *Dew point* (°C)
- Velocidade da recirculação de ar (RPM)

2.2.12 Congelamento

O congelamento é uma técnica de conservação de alimentos que inibe ou retarda as reações químicas e atividades enzimáticas, bem como a ação de microorganismos. Para perfeita manutenção das características de qualidade, a água presente no alimento deve ser congelada o mais rápido possível e assim mantida.

No congelamento rápido, uso de temperaturas próximas de -35 °C a fim de atingir temperaturas internas < -12°C, pequenos cristais de gelo são formados nas células, de forma que no descongelamento não ocorra a ruptura das paredes celulares provocando extravasamento do conteúdo celular e alteração de características do alimento.

2.3 Modelagem do processo de fritura

Muitos trabalhos relacionados à fritura estão limitados fundamentalmente em observações ao processo de fritura. Modelos matemáticos empregados têm sido basicamente aplicados à predição dos perfis de temperatura dentro do alimento frito e à predição da cinética de perda de umidade. No entanto, poucos modelos contabilizam os efeitos da absorção de óleo.

Modelos com diferentes graus de complexidade são reportados na literatura, com várias considerações e hipóteses simplificadoras. A maioria dos modelos para a evaporação de água durante a fritura considera o produto como uma fase única, não diferenciando as regiões de crosta e núcleo do alimento, e assim não é necessário mover a interface crosta/núcleo com o tempo, onde a difusão de massa e energias são considerados mecanismos controladores do processo. (ASHKENAZI et al., 1984; SAHIN et al., 1999; apud BOUCHON, 2006).

No entanto, alguns autores reconhecem a importância de separar as duas regiões de crosta e núcleo não frito e tem proposto modelos que consideram a presença de um contorno móvel, o que caracteriza um problema de fronteira móvel (BOUCHON, 2002, FARKAS et al., 1996 a; FARID; CHEN, 1998; NI; DATTA, 1999; apud BOUCHON, 2006).

De fato, FARKAS et al. (1994) apud BOUCHON, (2006) foram os pioneiros no desenvolvimento e compreensão de modelos térmicos e de transporte de umidade durante a fritura. Eles se inspiraram nos modelos de congelamento em que também ocorre o movimento de uma frente de congelamento (CARSLAW;JAEGER, 1959; KING, 1970; apud BOUCHON, 2006). O modelo consiste em um conjunto diferente de equações para as duas regiões, separadas por uma fronteira móvel onde ocorre a evaporação. Nesse modelo, eles não incluíram a fase do óleo. A equação da energia em ambas as regiões contabilizava os termos relativos à transferência de calor por condução. Além disso, havia ainda a transferência de água por difusão dentro da região de núcleo e eles assumiram que o vapor de água escoava tendo o gradiente de pressão como força motriz. O sistema final de equações do modelo consistia em quatro equações diferenciais parciais não-lineares, que foram resolvidas pelo método de diferenças finitas. Os resultados foram comparados com os experimentos e foi obtida uma boa predição dos perfis de temperatura, umidade e espessura da região de crosta (FARKAS et al., 1996b).

BOUCHON (2002) modelou a evaporação de água em uma placa infinita e em um cilindro infinito. NI;DATTA (1999) desenvolveram um modelo poroso multifásico para predizer a perda de umidade, absorção de óleo e transporte de energia em uma fatia de batata, considerando o problema como de fronteira móvel. Eles assumiram que o transporte de ar e vapor foi principalmente devido à efeitos convectivos e difusivos, enquanto o escoamento de água líquida e óleo foi ocasionado por forças convectivas e também o efeito de capilaridade. Houve boa concordância entre os dados preditos pelo modelo e os dados experimentais de FARKAS et al. (1994). No entanto, o modelo não contabilizava um termo de absorção de óleo.

KROKIDA et al (2000) desenvolveram uma relação entre a perda de umidade e a absorção de óleo com o tempo de fritura, aplicado à batatas fritas. Eles empregaram uma cinética de primeira ordem, em que a constante da taxa é uma função da temperatura do óleo, espessura da amostra e tipo de óleo. Os parâmetros do modelo foram estimados a partir dos dados experimentais por meio de análise de regressão não linear. Eles concluíram a absorção de óleo foi mais influenciada pela temperatura do óleo e espessura da batata, enquanto o tipo de óleo não afetou significativamente o fenômeno de transferência de massa, sendo a perda de umidade e absorção de óleo, favorecidos à altas temperaturas e amostras com menor espessura.

Um modelo 2D foi desenvolvido por YAMSAENG SUNG; MOREIRA (2002) para prever as transferências de calor e massa que ocorrem durante a fritura e no processo de resfriamento de *tortilla chips*. Algumas correlações empíricas foram incluídas a fim de contabilizar mudanças na estrutura do alimento. Durante o resfriamento, foi considerada apenas a absorção de óleo, que foi contabilizada em função da pressão capilar. Dentre as hipóteses utilizadas no modelo, podemos citar:

- as fases sólida, líquida e gasosa foram consideradas contínuas
- equilíbrio térmico local, que significa que a temperatura das três fases é igual.
- pressão de vapor é uma função da temperatura
- fase gasosa consiste de uma mistura binária de ar e vapor
- A lei de Darcy é válida para descrever o escoamento convectivo de líquidos e gases
- o transporte de líquidos é devido ao escoamento capilar e convectivo e o transporte do gás é devido ao escoamento convectivo e difusão molecular de Knudsen;
- condução de calor no meio poroso é descrito em termos da condutividade térmica efetiva e é proporcional à massa de cada fase
- O calor latente define a evaporação pela qual resfria a região durante a mudança de fase mantendo a temperatura local próxima ao ponto de ebulição da água
- A temperatura local permanece no ponto de ebulição da água até que uma baixa concentração de água seja atingida
- O coeficiente de transferência de calor é função da temperatura do óleo de fritura e do gradiente de temperatura entre a superfície do alimento e o óleo
- o encolhimento ocorre devido à remoção de água vinculada
- o efeito de dilatação local pode ocorrer devido à expansão de ar e vapor

BOUCHON; PYLE (2005) desenvolveram um modelo para o processo de fritura considerando o alimento como uma placa infinita e também de cilindro infinito. Por meio de uma análise de sensibilidade do modelo, eles concluíram que uma diminuição da espessura da placa e da capacidade térmica do núcleo conduz a uma rápida formação da crosta. Além disso, os aumentos da temperatura do óleo e do coeficiente de transferência de calor entre o óleo e a superfície aceleram a formação da crosta. Quanto à absorção de óleo, eles verificaram que o tempo necessário para acontecer a absorção de óleo durante o resfriamento foi extremamente sensível ao raio do poro, indicando a importância de se determinar com precisão a distribuição de tamanhos de poros nas aplicações industriais.

2.3.1 Transferência de calor e massa durante o processo de fritura

A fritura é um processo térmico em que ocorre simultaneamente transferência de calor e massa. A Figura 2.8 apresenta um esquema desse processo, onde se pode observar que ocorre transferência de calor por convecção do seio do óleo para a superfície do alimento, enquanto dentro do alimento, o calor é transferido por condução. A transferência de massa é caracterizada pela perda de água do interior do alimento, que ao atingir altas temperaturas, forma bolhas de vapor de água que escoam para fora do alimento e também pelo óleo difundindo para o interior do alimento (SINGH, 1995, apud BOUCHON, 2006)

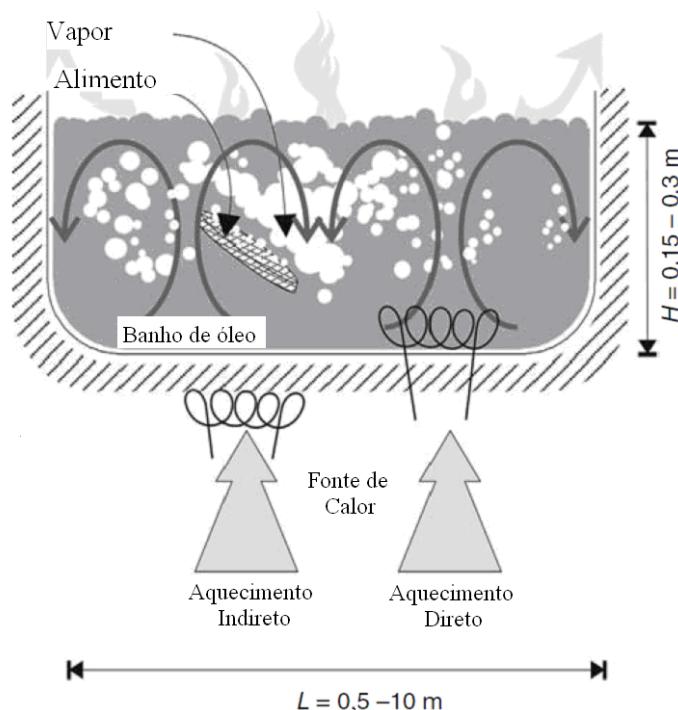


Figura 2.8 – Princípios de transferência de calor convectivo durante a fritura.

FONTE: BOUCHON (2006)

FARKAS et al (1994), apud BOUCHON (2006), observaram que a temperatura em qualquer local na região do núcleo é limitada a valores inferiores à temperatura d ebulação do líquido intersticial (aproximadamente 105°C). Quando todo o líquido é evaporado dessa região, a temperatura começa a aumentar até atingir uma temperatura próxima à do óleo e assim, dá-se início a formação da crosta. Com a continuidade desse processo de formação de crosta, a fronteira entre o núcleo do alimento e a crosta vai se movendo no sentido do interior do alimento. Baseado em observações visuais, análise dos perfis de temperatura e dados de umidade, eles sugeriram que o processo de fritura é composto por quatro estágios distintos:

1- Aquecimento inicial, que demora poucos segundos e corresponde ao período de tempo para que a temperatura da superfície atinja a temperatura de ebulação do líquido existente no alimento. O calor é transferido por convecção natural e não ocorre vaporização de água.

2- Fritura da superfície. Caracterizada pela perda de água da região próxima à superfície e dá-se o início de formação da crosta e assim, um regime de convecção forçada predomina, devido à alta turbulência provocada pela saída das primeiras bolhas e fervura do núcleo.

3- Decaimento da taxa, que é a etapa mais longa, onde há perda considerável de umidade no interior do alimento e a temperatura da região interna atinge o ponto de ebulação, gerando um aumento progressivo da espessura da crosta e finalmente a transferência de vapor na superfície diminui.

4- Borbulhamento, a última etapa do processo.

Durante o processo de fritura, a transferência de calor e massa no produto, bem como as transformações que nele ocorrem, é governada pelo calor transferido do óleo para o produto por meio de sua superfície externa. O impacto que o aquecimento causa está relacionado à temperatura final atingida e à taxa de aquecimento.

Uma das características mais marcantes da fritura é a transferência de calor a altas taxas de aquecimento usando um reservatório de calor criado pelo grande volume de óleo, quando comparado com o volume do produto, como mostra a Figura 2.8. Por causa da densidade e capacidade térmica do óleo, as taxas de transferência de calor envolvidas são particularmente altas quando comparadas a gases, como ar quente ou vapor super aquecido. Além disso, quando o produto é imerso no óleo, o líquido circunda o produto de uma forma homogênea, conferindo uniformidade ao produto (ACHIR et al., 2009).

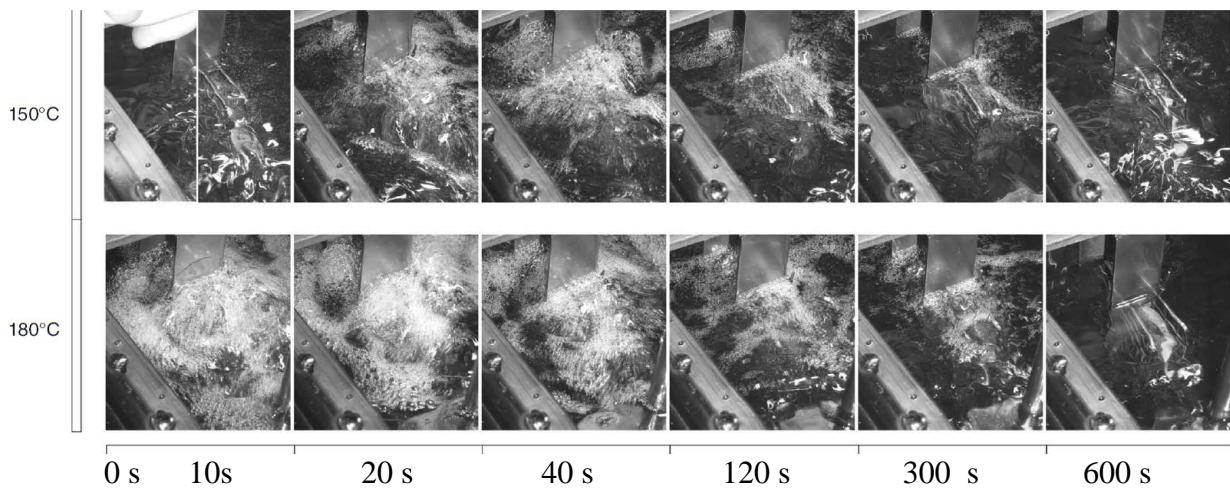


Figura 2.9 – Bolhas de vapor escapando de um material de alginato imerso em óleo aquecido a 150 °C e 180 °C.

FONTE: ACHIR et al. (2009)

Como óleos são fluidos altamente termo-expansíveis, as forças de ascensão são particularmente eficientes para homogeneizar a temperatura ao longo da direção vertical. A Figura 2.9 apresenta um experimento de fritura ao longo do tempo, no qual se pode observar que o calor é usado principalmente para vaporizar a água. Bolhas de vapor, que escapam do produto através da superfície externa, são observadas imediatamente ou após poucos segundos de imersão dentro do óleo. A vaporização da água livre ocorre na temperatura de ebullição da água (T_{sat}) e a taxa de vaporização é proporcional à diferença de temperatura entre o seio do fluido (óleo) e T_{sat} (ACHIR et al., 2009).

Experimentalmente, as bolhas tendem a desaparecer quando a temperatura do óleo é menor que a temperatura da superfície do produto. O aquecimento da superfície do produto diminui a força motriz, o que ocasiona a diminuição do borbulhamento.

Quando o produto entra em equilíbrio térmico com o óleo, ainda permanece certa quantidade de água no produto. Além disso, o aumento da temperatura do óleo leva outra vez ao borbulhamento até que um novo equilíbrio térmico seja atingido. Então, a uma dada pressão, convencionalmente a pressão atmosférica, a temperatura do seio do óleo alcança um mínimo de água residual, que corresponde à temperatura de saturação da água no equilíbrio com solutos e macromoléculas (ACHIR et al., 2009).

FARINU; BAIK (2007) avaliaram os coeficientes de transferência de calor durante o processo de fritura de batata doce e como eles são influenciados pelo tamanho do produto e a temperatura do óleo. O coeficiente de transferência de calor estimado (h) foi baseado no

balanço de energia entre o óleo e a amostra durante a fritura, sendo o valor máximo (710-850 W/m²K) alcançado na etapa inicial da fritura (80-120 s). Eles também observaram que o coeficiente de transferência de calor varia diretamente com a temperatura do óleo e de forma inversa ao tamanho da amostra.

Os coeficientes de transferência de calor por convecção natural estão na faixa entre 250 e 280 W/m²K na temperatura de fritura, de acordo com as estimativas de MILLER et al. (1994) e MOREIRA et al. (1999) apud BOUCHON (2006). É nesse ponto em que os coeficientes de calor por convecção forçada podem atingir seu valor máximo, duas ou três vezes maior que os medidos na ausência do borbulhamento (BOUCHON, 2002; HUBBARD;FARKAS, 1999; HUBBARD; FARKAS, 2000; COSTA et al., 1999).

2.3.2 Perfilis de temperatura e umidade durante a fritura

A Figura 2.10 mostra um esquema dos três regimes principais do processo de fritura. O primeiro regime de transição (regime A) está associado com um alto coeficiente convectivo, acima de 150 kW/m², e é seguido por um escoamento de bolhas de vapor. Quando essa geração de vapor é mais rápida que a habilidade do meio de remover o vapor formado, ocorre um aumento da resistência à transferência de calor por causa do filme de vapor que circunda o produto.

O segundo regime (regime B), corresponde a um fluxo constante de calor entre 40 kW/m² e 50 kW/m², no qual a temperatura do núcleo se aproxima de T_{sat} . Nesse regime, a água é vaporizada dentro do produto. A fronteira entre a crosta e o núcleo é onde ocorre a secagem do produto devido à vaporização.

O terceiro regime (regime C) coincide com o aumento da temperatura da crosta acima de T_{sat} e a diminuição do fluxo de calor devido à diminuição do gradiente de temperatura.

A vaporização superficial inicial (regime A) e a subsequente vaporização durante o regime B cria a uma região seca, porosa e superaquecida ($T_B > T_{sat}$), denominada crosta. As principais características organolépticas, tais como textura, sabor e aroma, são geradas na crosta. Durante o mesmo período, a temperatura no núcleo do alimento permanece inferior ou próxima à T_{sat} e ainda contém grande quantidade de água livre ou nos capilares. As principais transformações que ocorrem nessa região são a gelatinização do amido e desnaturação de proteínas, que colaboram com o aumento da digestibilidade da comida frita (ACHIR et al., 2009).

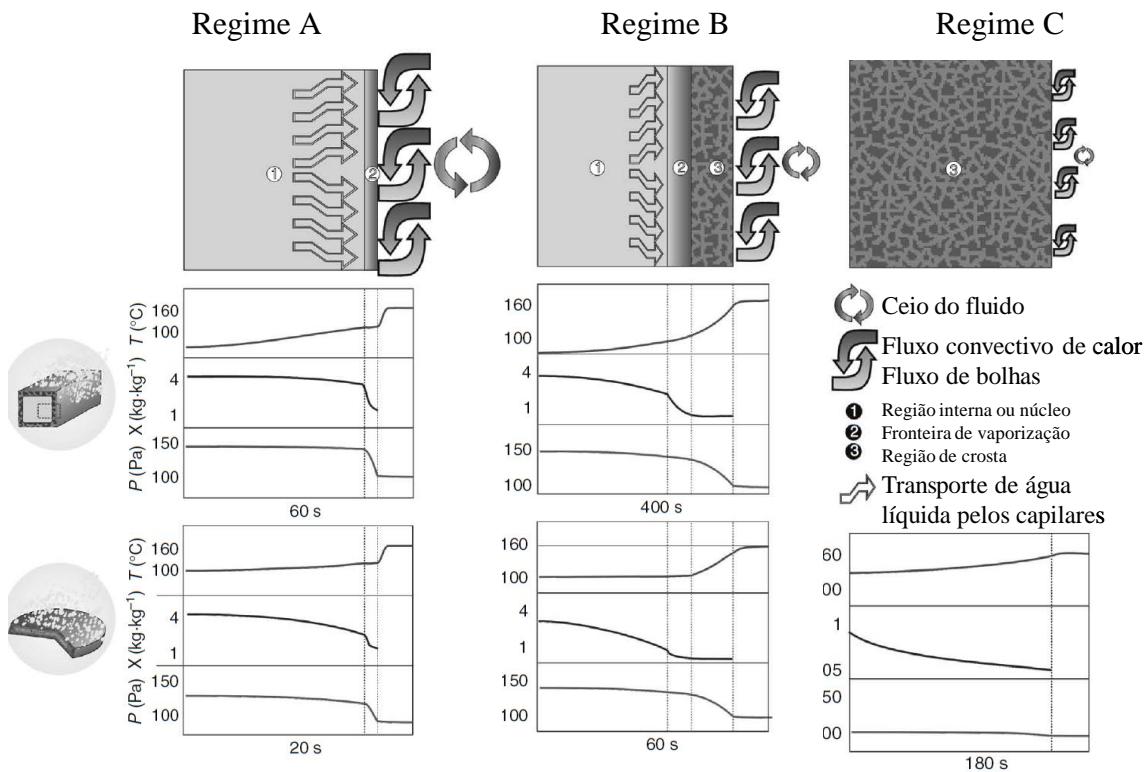


Figura 2.10 – Síntese dos perfis de temperatura e de umidade simulados durante o processo de fritura, de acordo com a geometria do alimento.

FONTE: ACHIR et al. (2009)

2.3.3 Formação da crosta

A formação da crosta contribui de forma importante para a textura de produtos fritos. A textura crocante e a cor marrom dourado dos alimentos fritos são consequências diretas da evaporação da umidade, desidratação, reação química gerando escurecimento do produto (Reação de Maillard), caramelização e formação de crosta, que ocorrem principalmente na superfície dos alimentos durante a fritura. A temperatura elevada durante a fritura eleva a temperatura da superfície do produto, levando a evaporação progressiva da umidade no sentido do núcleo do alimento (NGADI et al., 2009).

A formação da crosta é um índice de qualidade significativo para os alimentos fritos. A crosta desempenha um papel importante na transferência de massa durante a fritura, reduzindo a absorção de óleo e a perda de umidade no interior da matriz alimentar, contribuindo assim para a suculência e mastigabilidade dos alimentos fritos (NGADI et al., 2009).

Uma crosta seca se torna uma barreira à transferência de massa. Alguns materiais, tais como hidrocolóides e algumas farinhas são capazes de gelatinizar, formando barreiras, e têm sido usadas para revestir certos alimentos fritos. A utilização destes revestimentos para formar uma crosta especial tem sido eficaz no controle da transferência de massa durante a fritura, reduzindo a absorção de óleo (FISZMAN; SALVADOR 2003; GARCIA et al. 2004; PINTHUS et al. 1993 apud NGADI et al., 2009). Características da crosta, tais como cor, rugosidade da superfície, profundidade e textura, são funções de diversos fatores: componentes dos alimentos, a temperatura e duração da fritura, e qualidade do óleo de fritura.

O desenvolvimento da rugosidade da superfície é uma característica exclusiva da crosta formada durante a fritura. O teor de umidade inicial, tratamento prévio, componentes dos alimentos e condições de fritura estão entre os fatores que influenciam o grau de rugosidade da superfície desenvolvido durante a fritura. Figura 2.11 mostra imagens de nuggets de frango, com aumento da rugosidade da superfície, devido à transformação de pré-fritura (microondas pré-cozimento) e o tempo de fritura. A rugosidade superficial e absorção de óleo aumentaram, pois houve um aumento da superfície de contato. Além disso, a rugosidade da superfície pode desempenhar um papel na modificação coeficientes de transferência de calor, com consequências sobre as taxas de transferência de calor durante a fritura (NGADI et al., 2009).

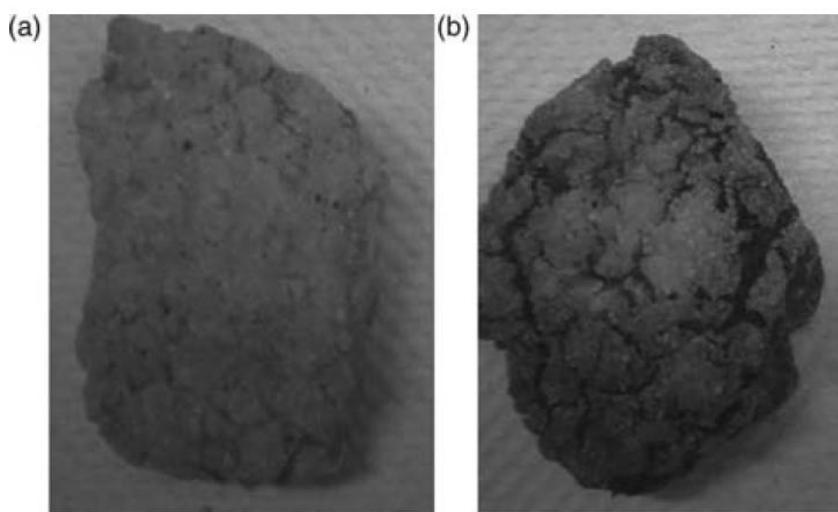


Figura 2.11 – Crosta formada durante a fritura de nuggets de frango: (a) depois de 30 s e (b) após 90 s de fritura em óleo de canola.

FONTE: NGADI et al. (2009)

2.3.4 O encolhimento do alimento

Alimentos sofrem mudanças estruturais em suas matrizes devido à intensidade do calor durante a fritura. O encolhimento que ocorre durante a fritura é resultante da secagem devido à eliminação da umidade do produto, causando o colapso de seu quadro estrutural, conduzindo à uma redução de volume. A taxa de remoção de água influencia o grau de retração. Uma evaporação lenta da umidade resultará em uma redução de volume uniforme. No entanto, se a taxa de remoção de umidade é alta, uma crosta sólida é formada rapidamente, que preserva a forma original do produto até certo ponto, mas leva à formação de cavidades e fendas na parte interior do produto. Além disso, estratégias que fortaleçam o processo estrutural da matriz de alimentos e diminuam a gravidade do processo de fritura tendem a reduzir a retração por causa do encolhimento, que está relacionada ao colapso estrutural (NGADI et al., 2009).

2.4 Mecanismos de absorção de óleo

Fritar é considerado essencialmente um processo de desidratação, onde o óleo fornece um meio eficaz de transferência de calor. Nestas condições, uma parte do óleo de fritura é absorvida pelo alimento, influenciando consideravelmente na qualidade do produto frito (VELASCO et al., 2009).

A temperatura do óleo de fritura diminui quando se acrescenta mais alimentos, e a temperatura no interior dos alimentos aumenta lentamente, mantendo-se em cerca de 100 °C. O vapor formado limita a penetração de óleo no interior dos alimentos, resultando num produto frito com duas zonas características: a superfície desidratado (onde ocorrem as principais mudanças) e o núcleo (onde a temperatura não ultrapassa 100 °C).

Esta é a base da teoria dos surfactantes, que tenta explicar a absorção de óleo e sua relação com a qualidade das frituras. Segundo a teoria de BLUMENTHAL (1991), os surfactantes são os principais agentes responsáveis pela qualidade final do produto frito. Existe uma relação entre a qualidade dos alimentos fritos e a quantidade de surfactantes, ou seja, compostos anfifílicos como sabonetes, fosfolipídios, diglicerídeos, formados com o aumento da degradação de óleo ou lixiviados dos alimentos. Assim, quando o óleo é fresco e não há surfactantes ou seu nível é muito baixo, a transferência de calor é difícil, pois não há compostos que facilitam o contato entre os dois meios imiscíveis, ou seja, o óleo e a água

eliminada do alimento. Nestas condições, há pouca absorção de óleo e o alimento continua com uma cor pálida.

Uma vez iniciada a degradação do óleo, o nível de degradação de compostos polares aumenta, e consequentemente também aumenta a afinidade entre o óleo e o alimento. Assim, forma-se uma crosta fina e crocante, com cor dourada e um delicioso sabor. No entanto, se o aumento da degradação do óleo for muito alto, o produto pode tornar-se inaceitável por causa de um alto teor de óleo absorvido e uma escurecida e grossa (BLUMENTHAL, 1991; BLUMENTHAL; STIER, 2000; STIER, 2004; apud VELASCO et al., 2009).

Outros mecanismos alternativos têm sido propostos vários estudos para descrever fenômenos de absorção do óleo:

- Retirada da água do alimento e assim o óleo adere e nos poros formados.

- Efeito de resfriamento. Após retirar o alimento da fritadeira, vapor de água condensa-se quando o produto começa a esfriar, diminuindo a pressão interna e assim o óleo aderido à superfície dos alimentos é succionado por um efeito de vácuo.

Portanto, a absorção de óleo é um fenômeno de superfície que envolve o equilíbrio entre a adesão e drenagem de óleo quando o alimento é retirado do banho de óleo.

A seleção de modelos precisa estar de acordo com observações experimentais que revelam quanto de óleo foi absorvido. Como e quanto de óleo penetra dentro da estrutura do alimento ainda não está esclarecido. Entretanto, já foi comprovado que a maioria do óleo é confinado na região de superfície do produto frito (KELLER et al., 1986; LAMBERG et al., 1990; FARKAS et al., 1992; SAGUY et al., 1997; PEDRESCHI, et al., 1999) e existe uma forte evidência de que a maioria da absorção ocorre durante o período de resfriamento (MOREIRA et al., 1997; UFHEIL;ESCHER, 1996; AGUILERA; GLORIA, 2000; apud BOUCHON, 2006).

Dentre os fatores que afetam a absorção de óleo, pode-se citar:

- Conteúdo de sólidos inicial (LISNSKA; LESZCZYNSKI, 1991; GAMBLE; RICE, 1988; LULAI;ORR, 1979 apud BOUCHON, 2006).

- Temperatura do óleo de fritura. Quanto às condições de fritura de alimentos, a temperatura é crítica quanto à absorção do óleo e eliminação de água. Temperaturas entre 150 e 180°C não tem efeito significativo na absorção (DOBARGANES et al., 2000 apud JORGE;LUNARDI, 2005). Temperaturas muito elevadas aceleram o

processo de fritura aumentando a decomposição do óleo. Porém, produzem um alimento super cozido na superfície e um cozimento incompleto no seu interior. Temperaturas muito baixas desenvolvem cores mais claras, permitem uma maior absorção de óleo, obtendo um produto mais gorduroso (POZO-DÍEZ, 1995 apud JORGE e LUNARDI, 2005).

- Espessura de corte (GAMBLE;RICE, 1989; SELMAN;HOPKINS, 1989; BAUMANN;ESCHER, 1995; BOUCHON, 2006)
- Porosidade do alimento. A porosidade formada nos produtos durante a fritura desempenha um papel importante na absorção do óleo. As propriedades mecânicas, físicas, de textura e sensoriais dos alimentos são influenciadas pela porosidade e distribuição de tamanho de poros na matriz sólida. Eles também têm um efeito direto sobre as propriedades, como a difusividade mássica, a condutividade e difusividade térmica (RAHMAN et al., 2002 apud JEZEK et al., 2009). Portanto, as informações sobre a porosidade são importantes para avaliar a qualidade dos produtos alimentares, e modelagem da transferência de calor e massa durante o processamento de alimentos.
- Tipo de óleo. A influência do tipo de óleo e de qualidade na absorção de óleo e resíduos absorvidos por alimentos fritos é amplamente documentado (BLUMENTHAL, 1991; NONAKA et al., 1977; POKORNY, 1980, apud BOUCHON, 2006). Nenhuma relação foi encontrada entre o tipo de óleo e absorção de óleo, embora tenha sido demonstrado que um aumento da tensão superficial do óleo na interface conduz à diminuição da absorção de óleo (PINTHUS; SAGUY, 1994 apud BOUCHON, 2006). Alguns autores relatam que cada óleo tem uma diferente cinética de absorção. Em estudo com batatas fritas em óleos de oliva e soja em idênticas condições, foi comprovado que a penetração de óleo no alimento é maior para o óleo de soja atribuindo à maior porcentagem de ácidos graxos insaturados de seus triacilgliceróis livres (VARELA, 1989 apud JORGE;LUNARDI, 2005). Entretanto, em estudos realizados por VARELA (1980) apud JORGE;LUNARDI (2005) ao fritar batatas com óleo de soja, observou-se que a penetração inicial deste óleo na batata é maior do que quando se utiliza o óleo de oliva. Porém, quando o alimento está praticamente pronto, ou seja, com a máxima perda de água, o óleo de oliva foi o que apresentou maior absorção.

- Qualidade do óleo. A autoxidação, a oxidação térmica e a polimerização aumentam a viscosidade do meio de fritura, uma vez que, à medida que o óleo vai se alterando, produz-se aumento no tempo de cozimento e, consequentemente, maior absorção de óleo por parte do alimento frito (DOBARGANES et al., 2000 apud JORGE; LUNARDI, 2005). A capacidade térmica do óleo diminui com o uso, a medida que o óleo vai se alterando, formam-se surfactantes que ocasionam aumento no tempo de contato entre o alimento e o óleo e isso faz com que o alimento absorva óleo em excesso e que, a taxa de transferência de calor na superfície do alimento aumente, originando uma penetração máxima de óleo, tornando o alimento totalmente gorduroso ao invés de uma penetração periférica com formação de uma crosta (BLUMENTHAL, 1991). Em altas temperaturas, superiores a 200°C, ocorre a aceleração da deterioração do óleo e a formação de ácidos graxos livres que alteram a viscosidade, o sabor e a cor do óleo. Além disso, provocam a formação de espuma, o que causa perda da qualidade do óleo, na formação de aerossóis e na absorção excessiva pelo produto, encharcamento (FELLOWS, 2007). Quando o óleo é reutilizado muitas vezes, ele indisponibiliza os ácidos graxos essenciais. Neste processo, ocorre também a formação dos radicais livres e a formação de peróxidos e hidroperóxidos como estruturas primárias da deterioração, tornando os alimentos com as superfícies rígidas, com manchas, encharcados de óleo e com muita espuma e com coloração intensa (OETTERER, 2004). Alimentos submetidos à fritura em óleos reutilizados e mantidos sob aquecimento constante podem proporcionar a formação de produtos inaceitáveis pelo sabor residual de ranço, sensação excessivamente gordurosa ao paladar e alteração da textura (COSTA NETO et al., 1995).
- Tratamentos pré-fritura. A redução do teor de umidade do alimento antes da fritura por meio de microondas e o tratamento de ar quente levam à uma redução no teor final de óleo (LAMBERG et al., 1990, apud BOUCHON, 2006; MOREIRA et al., 1999; GAMBLE; RICE, 1987). Já o processo de liofilização, só aumenta a absorção de óleo (GAMBLE et al., 1987 apud BOUCHON, 2006).

Segundo MOREIRA et al. (1997), a absorção de óleo no alimento frito ocorre principalmente durante o período de resfriamento. O mesmo foi comprovado por VITRAC et al. (2000) apud ACHIR et al., (2009), que mediram a pressão interna de um material à base de amido, durante a fritura e o posterior resfriamento. Uma alta pressão foi observada durante a

fritura e não percebida qualquer migração de óleo para dentro do material. O mesmo não ocorreu durante o resfriamento. O rápido resfriamento da crosta, em um domínio higroscópico, gerou uma condensação imediata do vapor em equilíbrio com a matriz sólida, e foi responsável por uma queda da pressão, atingindo 35 kPa. Repetições do mesmo experimento para materiais com diferentes composições mostraram que os valores de pressão dependem da densidade aparente e da porosidade do material.

A Figura 2.12 identifica os fenômenos que controlam a absorção de óleo durante o resfriamento. Segundo GAMBLE; RICE (1987) apud ACHIR et al., (2009) e MOREIRA; BARRUFET (1996), o óleo penetra na superfície quando o produto é removido do recipiente com óleo. Assim, o óleo e o gás competem no preenchimento dos poros acessíveis. As principais forças motrizes neste caso são: a pressão nos capilares e a queda de pressão gerada pela condensação do vapor. As resistências à migração do óleo estão relacionadas à viscosidade do óleo e à conectividade dos poros deixados pela remoção de água ou criados pelo deslocamento das células. Como resultado disso, diferenças significativas na porção de absorção de óleo podem ser observadas utilizando diferentes tipos de óleo ou produtos com estruturas distintas.

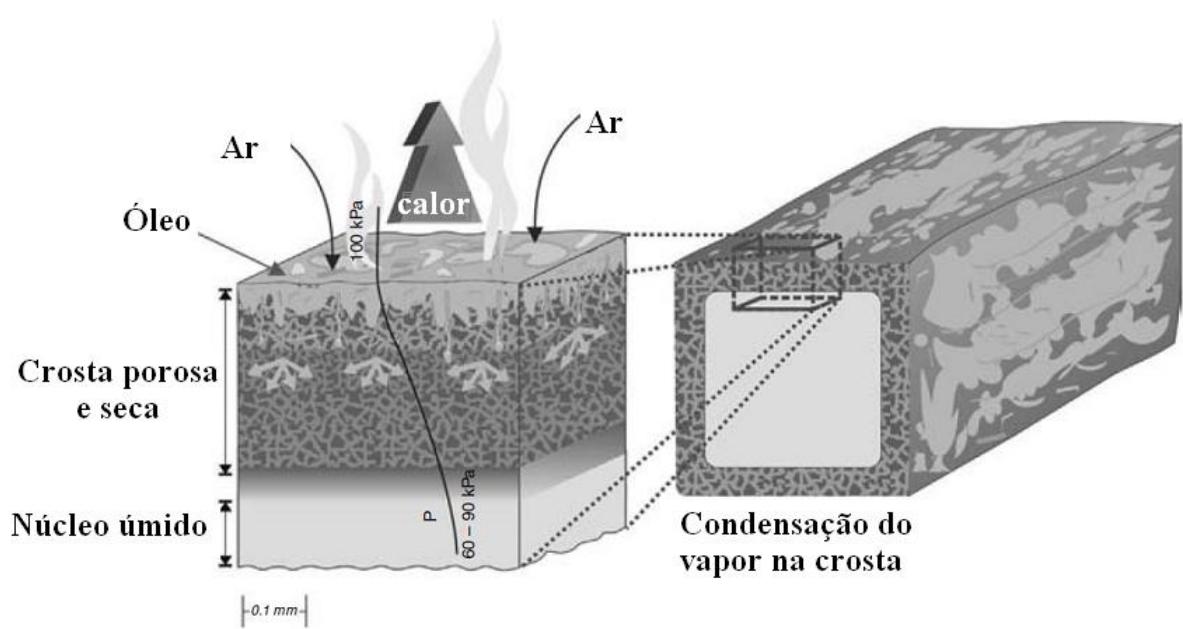


Figura 2.12 – Interpretação física da absorção de óleo durante o resfriamento.

FONTE: ACHIR et al., (2009)

Teoricamente, se o material foi frito submerso em óleo, todos os poros acessíveis a partir da superfície foram preenchidos por óleo. Como o produto é resfriado circundado de ar, atinge-se o equilíbrio mecânico entre a força capilar e a massa de líquido no poro, quando os poros são verticais. Quando os poros são horizontais, eles são completamente cheios de óleo. No entanto, como a camada de óleo é limitada, não ocorre o equilíbrio mecânico responsável pela ascensão máxima de óleo, passando a ser governado pelo balanço dinâmico de forças atuando na coluna de líquido no capilar.

Assim, espera-se uma maior absorção de óleo para produtos com poros mais largos, no entanto, a impregnação de óleo pode ser mais profunda para poros menores. No entanto, o efeito das condições de resfriamento sobre a absorção de óleo, bem como a influência das propriedades mecânicas e estruturais dos produtos sobre o processo ainda não estão muito bem caracterizados, mostrando a carência de novos estudos sobre o assunto.

MOREIRA et al. (1997) estudaram os principais fatores que afetam a absorção de óleo no processo de fritura de *tortilla chips*: umidade inicial, tempo, temperatura do óleo de fritura, distribuição de tamanho de partícula e qualidade do óleo. Os resultados mostraram que a absorção foi significativamente influenciada pelo tamanho do alimento e pelo teor inicial de umidade. Um alto teor inicial de umidade e baixa distribuição de tamanho de partículas resultaram numa maior absorção de óleo. Foi constatado que a utilização de óleo usado leva à uma maior retenção de gordura no alimento, provavelmente devido à maior viscosidade e menor tensão superficial do óleo reutilizado. Eles também observaram que somente 20% da absorção de óleo ocorreu durante a fritura, enquanto 64% do óleo foi absorvido pelo alimento durante o tempo de resfriamento. Cerca de 36% do óleo absorvido estava na superfície do alimento. As análises das imagens de micrografia mostraram que a distribuição de poros gerados durante a fritura é a principal causadora da absorção de óleo durante o resfriamento. Pequenos poros levam à uma alta pressão nos capilares durante o resfriamento e assim à altos conteúdos de óleo final. Além disso, a taxa entre a absorção de óleo e remoção de umidade não foi显著mente afetada pela temperatura do óleo em uma faixa de 130 a 190 °C.

SAGUY et al. (1997) desenvolveram um novo método de análise de imagens e cintilação, empregando ácido palmítico em meio líquido, para quantificar a absorção de óleo em frituras. Uma alta correlação linear significativa ($R^2=0,977$) foi encontrada entre o consumo de óleo medido pela cintilação em meio líquido e calorimetria diferencial, e entre cintilação em meio líquido e reflexão de imagem ($R^2=0,861$). Os resultados gerados pela técnica permitem a aquisição não só do valor total de óleo absorvido, mas também a

distribuição de óleo ao longo do alimento. A alta especificidade e sensibilidade do método permitiu quantificar a absorção de óleo a concentrações muito baixas (miligramas). A baixa concentração e estabilidade inerentes do produto químico radioativo, empregado neste método, fazem desta técnica um meio adequado para estudar mecanismo de absorção de óleo durante a fritura de alimentos.

2.5 Pré-tratamentos para redução de óleo em empanados

Devido às preferências dos consumidores por alimentos com baixo teor de gordura, grandes esforços têm sido feitos no sentido de explicar os fenômenos de transporte em diferentes superfícies por meio de modelos matemáticos (FARINU;BAIK, 2005; HINDRA; BAIK, 2006; VITRAC et al., 2002; YILDIZ et al., 2007; apud VELASCO et al., 2009). Além disso, vários estudos têm sido realizados sobre o desenvolvimento de novos revestimentos e coberturas, a fim de reduzir o teor de absorção de óleo.

A utilização de coberturas comestíveis em alimentos tem sido realizada em todo mundo por séculos. HARDENBURG (1967) apud QUERIDO (2005) afirmam que já nos séculos XII e XIII, os limões e laranjas na China eram recobertos por uma camada de cera, a fim de retardar a perda de água e consequentemente, o murchamento. No século XIX, camadas de gelatina eram utilizadas a fim de preservar carnes (KESTER; FENNEMA, 1986 apud QUERIDO, 2005). Outra função para as coberturas comestíveis é a de dar resistência mecânica ao alimento, melhorando sua integridade estrutural e criando barreiras à transferência de massa, que mantêm a umidade do alimento (ALLANSON, 1999; KESTER; FENNEMA, 1986, apud QUERIDO, 2005).

Existem alguns revestimentos comestíveis que podem ser utilizados para reduzir a captação do óleo no alimento durante o processo de fritura. Os revestimentos mais utilizados contêm hidrocolóides, lipídeos ou ambos. Durante a última década, muita atenção tem sido dada ao uso de hidrocolóides como a metilcelulose (MC), hidroxipropilmetylcelulose (HPMC), a celulose de fibra longa, zeína de milho e amidos modificados, para inibir a absorção de óleo (KOZEMPEL et al., 1991, apud BOUCHON, 2006).

A adição de hidrocolóides cria uma de barreira ao oxigênio, dióxido de carbono e lipídeos (WILLIAMS; MITTAL, 1999 apud QUERIDO, 2005), sendo os mais utilizados: proteínas, derivados de celulose, alginatos, pectinas e outros polissacarídeos

Hidrocolóides são polímeros solúveis em água, com alto peso molecular que possuem a habilidade de gelatinizar em solução aquosa. Eles são utilizados em sistemas *batter* a fim de aumentar a desempenho do revestimento, controlando a viscosidade da massa e aumentando a força de adesão, estabilizando os sólidos em suspensão e aumentando a capacidade de retenção de água (FERRERO; ZARITZKY, 2000; KRUGER et al. 2003, apud XUE;NGADI, 2007 b). Os hidrocolóides também servem de barreira à perda de água e absorção de óleo que ocorrem durante a fritura, já que algumas gomas podem formar filmes gelatinosos quando aquecidos.

Os filmes e coberturas são formados por pelo menos um constituinte capaz de formar uma matriz contínua e de coesão adequada, geralmente uma macromolécula (GUILBERT et al., 1997 apud BERTAN, 2003). As principais macromoléculas empregadas são: proteínas (caseína, proteínas do soro do leite, proteína do milho (zeína), proteína do trigo (glúten), colágeno e gelatina), polissacarídeos e seus derivados (derivados da celulose, quitosana, amido, alginatos, pectinas e gomas) e lipídios (monoglicerídeos, ácidos graxos, ceras naturais, etc) (GUILBERT, 1986 apud BERTAN, 2003).

O pré-tratamento também pode ser considerado como uma ferramenta aliada e importante quanto à diminuição da absorção de gorduras nos alimentos submetidos à fritura e que possuem porosidade elevada. Aparentemente, o pré-tratamento (pré-cozimento ou pré-fritura) reduz a umidade aparente e externa ao produto. Segundo, NGADI et al. (2009), o pré-tratamento utilizando o microondas, induz-se rapidamente a diminuição da umidade e promove uma textura mais firme a produtos cárneos.

MALIIKARJUNAN et al. (1997) e FAN;ARCE (1986) apud QUERIDO (2005) reduziram o teor de óleo em alimentos fritos utilizando uma cobertura de amilose. FEENEY et al. (1993) apud QUERIDO (2005) utilizaram zeína de milho na redução da absorção de óleo em batatas fritas em cerca de 28%. KHALIL (1999) apud QUERIDO (2005) empregou soluções com diferentes concentrações de pectina ou alginato de sódio com cloreto de sódio, sendo a solução com 5% de pectina e 0,5% de cloreto de cálcio, a que reduziu em 40% o teor de absorção de óleo. A seguir, encontram-se alguns trabalhos relacionados com os vários tipos de substâncias adicionadas ao *batter* e que possuem capacidade de redução da retenção de óleo durante o processo de fritura.

2.5.1 Adição de MC e HPMC

Os hidrocolóides possuem alta capacidade de retenção de água, especialmente aqueles derivados de celulose, o que contribui para o aumento da viscosidade e redução da absorção de óleo (MEYERS, 1990 apud SANZ; SALVADOR, 2009). É geralmente reconhecido que a absorção de óleo está relacionada à perda de umidade durante a fritura (LAMBERG et al., 1990 apud SANZ; SALVADOR, 2009). No caso dos hidrocolóides à base de celulose, a baixa absorção de óleo e a retenção de umidade também são atribuídas à sua capacidade de gelatinização térmica.

A metilcelulose tem habilidades térmicas de gelatinização únicas e é comumente usada na indústria para reduzir a quantidade de óleo final em empanados. O emprego de MC e filmes HPMC tem se mostrado eficaz em uma ampla gama de aplicações, tais como nuggets de frango (MEYERS; CONKLIN, 1990 apud FISZMAN, 2009), cogumelos, tiras de peito de frango, bolinhos de purê de batata (MALLIKARJUNAN et al., 1997 apud FISZMAN, 2009). Em contato com óleo quente, o MC ou HPMC presente na massa formam um filme, que juntamente com sua elevada capacidade de retenção de água, protege o alimento contra a perda de umidade e a entrada de óleo durante o processo de fritura (MALLIKARJUNAN, et al. 1997 apud FISZMAN, 2009).

Além da adição de hidrocolóides à mistura da massa, outra possibilidade testada é a de formar um filme comestível em torno das partes do alimento, através da imersão das mesmas em uma solução de MC ou HPMC. HOLOWNIA et al. (2000) apud FISZMAN (2009) estudaram a influência da aplicação HPMC e MC para reduzir a quantidade de óleo absorvida pela crosta de tiras de frango marinado. Foi testada a formação do filme antes do empanamento e na adição de substâncias à formulação do revestimento. Neste trabalho a formação do filme antes do empanamento não reduziu a quantidade de óleo absorvido pela crosta, mas reduziu a umidade. Aplicando o filme após o empanamento, percebeu-se problemas de adesão do revestimento.

SANZ et al., (2004) apud FISZMAN (2009) verificaram que o aumento da concentração de MC de 1% a 2% em massa, levou à menor absorção de óleo e uma maior redução da umidade na crosta empanada após a pré-fritura por 30 segundos e após a fritura final e posterior congelamento. Em todas as concentrações estudadas, a eficácia da barreira foi mais evidente após os 30 s de pré-fritura.

2.5.2 Adição de Gomas: Gelana, Xantana, Guar e Arábica

Outros hidrocolóides capazes de gerar esse filme gelatinoso têm sido utilizados como barreiras contra a absorção de gordura, dentre eles podemos destacar a goma gelana e a pectina. A goma gelana é um heteropolissacarídeo linear aniônico produzido por *Pseudomonas elode* e pode ser aplicada como uma solução quente: o alimento é mergulhado na solução e forma um filme enquanto esfria. Outra possibilidade é a de mergulhar o alimento em uma solução de gelana fria: a gelatinização ocorre após a adição de íons como Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ (DUXBURY, 1993 apud FISZMAN, 2009). Quanto ao uso de pectina, quando em óleo durante a reação entre o Ca^{2+} e pectina. O nível de Ca^{2+} adicionado à farinha de rosca tem que ser suficiente para promover uma reação eficiente com a pectina (GERRISH et al., 1997 apud FISZMAN, 2009).

BAJAJ;SINGHAL (2007) utilizaram goma gelana a fim de reduzir a absorção de óleo de um produto indiano tradicional, à base de farinha de grão de bico. A goma gelana é um polissacarídeo de alto peso molecular, linear, aniônico produzido por fermentação em cultura pura de *Sphingomonas pauc-imobilis* e apresenta grande capacidade de gelatinização. Os resultados mostraram que a adição de 0,25% (w/w) de goma gelana reduziu acentuadamente o teor de óleo no alimento, de 37,02% para 27,91%, não sendo constatada redução significativa para adições superiores a esse valor. A provável explicação para essa redução é que a presença da goma gelana afeta a retenção de água no produto. Como a absorção de óleo durante a fritura é um fenômeno de superfície, um maior caráter hidrofóbico da superfície gera uma maior absorção de óleo. Assim, a capacidade da goma gelana reduzir a captação de óleo pode estar ligada à sua característica hidrofílica. Outra razão para a redução de óleo é a formação de um filme gelatinoso à base de gelana, que ocorre com o aumento da temperatura.

A goma xantana também tem sido utilizada na indústria alimentícia por manter sua viscosidade uniforme em uma faixa extensa de temperatura (0-100 °C), além de ser altamente estável em soluções salinas (PEETTITT, 1982; URLACHER;NOBLE, 1997; apud XUE; NGADI, 2007 b). No entanto, uma dosagem maior do que 0,2% da goma xantana pode conduzir a problemas na qualidade dos alimentos (KUNTZ, 1995; apud XUE; NGADI, 2007 b).

SAHIN et al. (2005) estudaram o efeito da adição de diversas gomas (hidroxipropilmetilcelulose (HPMC), goma guar, goma xantana e goma arábica) à batter utilizada na produção de nuggets de frango. A goma arábica mostrou o pior desempenho

quanto à absorção de óleo. Quando comparadas todas as gomas quanto à redução na absorção de óleo, a goma xantana e a HPMC apresentaram os efeitos mais significantes, entretanto, elas produziram nuggets mais macios do que o padrão, ou seja, sem adição de nenhuma goma.

2.5.3 Adição de Farinha de Arroz E Milho

Segundo LOEWE (1993) apud XUE; NGADI (2007 a), a farinha branca de trigo é a comumente utilizada em sistemas *batter*. No entanto, outras farinhas, como a de arroz, milho e soja também têm sido utilizadas.

MOHAMED et al. (1998) estudaram a influência da adição de vários tipos de farinhas ao *batter*, sobre a absorção de óleo e à crocância. Eles observaram que a absorção de óleo aumenta linearmente com o aumento do teor de amilopectina no amido. Além disso, o aumento do teor de amilose mostrou aumentar a interação entre os polissacarídeos, gerando uma massa mais crocante e uma redução na absorção de óleo. Segundo eles, a razão ótima amilose/amilopectina que conduz à uma boa crocância foi de 18:67. A utilização da farinha de arroz pré-gelatinizada resultou em alimento empanado poroso, consistente, crocante, porém com alta absorção de óleo. Isso ocorre porque na presença da farinha de arroz pré-gelatinizada, mais água é necessária para obter a viscosidade exigida, uma vez que ela absorve água facilmente. Quanto à adição de proteína, o excesso desta pode reduzir a crocância e aumentar a absorção de óleo devido à uma maior emulsão de óleo e água dentro do alimento frito.

SHIH;DAIGLE, (1999) observaram uma redução de 69% na absorção de óleo de alimentos revestidos por *batter* à base de farinha de arroz, quando comprado coma farinha de trigo. Já a farinha de milho, produz uma cor amarelada devido à presença de carotenóides no milho e pode ser utilizada como fonte natural da cor amarela. Em geral, altos níveis de farinha de milho aumentaram a crocância do revestimento e diminuíram a retenção de água no alimento. De acordo com os autores, a retenção de óleo empregando farinhas de arroz e de milho foi de 27,6 e 49,3%, respectivamente. Eles explicaram que a proteína do trigo se liga fortemente com as moléculas de óleo, aumentando assim a porcentagem de gordura no alimento, no entanto, o mecanismo não é claro. A adição de farinha de arroz na massa de empanamento também foi estudada.

Batters à base de farinha de arroz e de milho, aplicados ao empanamento de coxas de frango, foram testados por MUKPRASIRT et al. (2001) e comparados com o *batter* tradicional, à base de farinha de trigo. Foi observado que *batters* contendo apenas farinha de arroz e milho (na proporção de 60:40) apresentaram maior adesão da massa ao alimento. Uma solução similar a esta, só que sem a adição de metilcelulose foi testada e apresentou uma absorção maior de óleo, o que enfatiza que a redução de óleo no produto frito foi principalmente devido à adição de metilcelulose. Adicionalmente, as diferenças na estrutura química das proteínas de arroz e de trigo podem desempenhar um papel fundamental na absorção de óleo.

As propriedades térmicas de sistemas *batter* foram estudadas por XUE;NGADI (2007 a), para diferentes combinações de farinhas comumente usadas na produção de nuggets. Foram medidas as temperaturas de transição vítria, gelatinização, fusão, capacidade calorífica e a entalpia para três misturas *batter*. Segundo eles, a adição de sal e de metilcelulose ao *batter* aumentou consideravelmente a temperatura de gelatinização, mas diminuiu a temperatura de transição vítria. O sal também diminuiu a entalpia de gelatinização e a temperatura de fusão. Quando as farinhas de milho ou de arroz foram adicionadas à farinha de trigo, observou-se que uma maior entalpia é requerida na gelatinização, principalmente quando se trabalha com *batter* a 70% de farinha de milho.

JEZEK et al. (2009) estudaram os efeitos da adição de algumas farinhas à *batter* sobre a porosidade do alimento frito e consequentemente, a absorção de óleo. O tamanho e distribuição granulométrica dos poros foram determinados através da análise de microscopia de imagens. Os resultados obtidos mostram que a porosidade das amostras diminuiu com o prolongamento tempo de fritura, como resultado da absorção de óleo, desnaturação de proteínas e outros fatores. A análise estatística mostra que o tempo de fritura teve influência significativa sobre a porosidade das amostras, pois durante a fritura, a captação de óleo preenche os poros das amostras, formando assim uma estrutura composta, em interação com as fibras. Como a porosidade varia de acordo com o tipo de farinha adicionada à massa *batter*, acredita-se que a captação de óleo é uma consequência da formação ou não do filme gelatinoso. O aumento da concentração de amido de arroz na massa *batter* ocasionou a redução de absorção de óleo, enquanto a adição de fibras dietéticas aumentou a absorção de óleo.

2.5.4 Adição de proteínas

FREITAS et al. (2009) investigaram a influência do uso de revestimentos comestíveis a partir de três diferentes hidrocolóides (pectina, proteína de soro de leite e proteína isolada de soja) durante a fritura de um produto à base da mandioca. Os produtos de mandioca foram caracterizados com relação à sua umidade e lipídios. A permeabilidade ao vapor de água, solubilidade em água e espessura do filme foram diretamente proporcionais à concentração dos filmes à base de proteínas. A proteína do soro de leite apresentou os melhores resultados no que diz respeito a absorção de gordura, apresentando uma redução de 27% para o purê de mandioca.

SHIH; DAIGLE (1999) também estudaram a adição de algumas proteínas como a proteína isolada de soja (SPI), do ovo (EA), ou proteína isolada de soro de leite (WPI), com o objetivo de reduzir a absorção de óleo em nuggets. A proteína de ovo reduziu o teor de óleo significativamente, mas produziram produtos mais macios. A adição de proteína de soro de leite à massa também reduziu significativamente o conteúdo de óleo dos nuggets fritos (DOGAN et al., 2005 apud FISZMAN, 2009).

A adição de albumina (20 g/kg), obtida a partir da clara do ovo, à massa *batter* aumentou a crocância e coloração. A albumina reduziu a retenção de óleo no produto, provavelmente devido à sua natureza lipofóbica (KATO; NAKAI, 1980 apud MOHAMED et al., 1998). A redução do consumo de óleo também tem sido relacionada com a gelatinização térmica e à capacidade de formação de filme (ANON, 1987; HENDERSON, 1988, apud MOHAMED et al., 1998) e pode também se aplicar a algumas proteínas. Glúten, leite e soro de leite podem afetar a textura devido à redução das interações entre polissacarídeos. A adição de gema de ovo aumenta a absorção de óleo e a dureza do alimento, provavelmente devido ao fato da maioria das proteínas se encontrarem na forma de lipo-proteínas e fosfoproteínas, o que pode reduzir a tensão superficial entre o óleo e a água e resultar em uma maior absorção de óleo (PARKINSON, 1966, apud MOHAMED et al., 1998). Foi constatado que a adição de cálcio melhora a crocância e reduz a absorção de óleo, se usado na concentração adequada (1 g/Kg de cloreto de cálcio). O cálcio reage com pectinas para formar pectina e pectato de cálcio insolúveis (LINDSAY, 1985, apud MOHAMED et al., 1998).

2.5.5 Adição de amido

Entre os primeiros filmes biodegradáveis e comestíveis estão os elaborados a partir do amido, por serem uma alternativa mais viável economicamente às resinas tradicionais (CHANDRA; RUSTGI, 1998 apud SANTOS, 2004) e por advirem de fontes renováveis. Tais filmes possuem moderada permeabilidade ao oxigênio, baixa barreira à umidade e baixa resistência mecânica. Adquirem propriedades termoplásticas quando se adiciona a água, por exemplo (KROCHTA; MULDER-JOHNSTON, 1997 apud SANTOS, 2004).

O amido quando aquecido na presença de água, sofre gelatinização. Na estrutura original do grânulo, uma parcela considerável de amido existe na forma cristalina que, em temperaturas moderadas, é impermeável à água. Após o aquecimento, estas áreas são discriminadas e são expostas à água, resultando no inchaço do grânulo. Além disso, a amilose é liberada e contribui para o aumento da viscosidade da massa. Quando há um excesso de água, a gelatinização do amido de trigo ocorre entre 52 °C e 63 °C. Na massa para empanados, onde a quantidade de água é limitada e diferentes ingredientes podem estar competindo por ela, a gelatinização do amido pode ter lugar a temperaturas mais elevadas. Se a quantidade de água disponível é muito limitada, a gelatinização pode, em casos extremos, não ocorrer. A massa deve ser suficientemente viscosa para garantir a distribuição homogênea de amido e, simultaneamente, conter água suficiente para garantir uma boa gelatinização do amido (SANZ; SALVADOR, 2009).

Os amidos têm um papel importante no *batter* que reveste os empanados e executa várias funções. A modificação gerada pela oxidação do amido consiste em uma despolimerização inicial dos polissacarídeos, seguido pela oxidação de um pequeno número de grupos hidroxila, aldeído e carboxilas. Os grupos carboxila vinculam o amido oxidado a as proteínas do substrato, aumentando a aderência. Esses amidos podem ser utilizados em altas concentrações sem causar um aumento significativo da viscosidade (SANZ; SALVADOR, 2009).

A modificação gerada por substituição consiste na introdução de grupos substituintes nos grupos hidroxila. A substituição ocorre em uma suspensão aquosa do granulado de amido, na presença de anidrido acético ou óxido de propileno. Os substituintes introduzidos não incentivam a associação de cadeias de polissacarídeos por hidrogênio, de modo que a retrogradação é retardada ou mesmo evitada. A substituição também provoca uma redução da temperatura de gelatinização do amido, pois os grupos acetato se juntaram ao polímero de amido tornando a sua estrutura mais aberta, ajudando a sua permeabilidade à água. Durante a

fritura, a substituição do amido permite a liberação de amilose, que dá origem à formação de um filme em torno do substrato. Este filme atua como uma barreira à perda de umidade e a entrada de óleo.

A hidrólise ácida do amido através de uma reação a altas temperaturas, seguidas por re-polimerização, produz dextrinas com solubilidades e viscosidades diferentes, e com excelente aderência, clareza e propriedades de ligação. O uso de dextrina nas massas reduz a viscosidade da massa e, resultando na conservação da crocância por mais tempo após a fritura (BAIXAULI et al., 2003; SANZ et al. 2005 a; SHINSATO et al., 1999; apud SANZ; SALVADOR, 2009).

Amido pré-gelatinizado é obtido pelo aquecimento do amido em água até sua gelatinização, e em seguida, é submetido a um processo de secagem. Amidos e féculas pré-gelatinizados são usados em baixas concentrações para aumentar a viscosidade e manter sólidos em suspensão.

De acordo com Olson; Zoss (1985) apud Fiszman (2009), a adição de um filme composto de gelatina e amido reduziu a absorção de óleo em cerca de 50%.

III - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

Neste trabalho foram empregados os seguintes equipamentos e materiais:

- estufa sem circulação de ar (Figura 3.1 (a)), fabricante: Biopar Equipamentos; modelo: S180SD; Potência: 1600 W;
- balança analítica com resolução de 10^{-4} g (Figura 3.1 (e)) Marca: Shimadzu;
- dessecador de vidro com sílica gel;
- recipiente com bico pulverizador (Figura 3.1 (e));
- placas de Petri (Figura 3.1 (e));
- espátula;
- pinça;
- cronômetro;
- luvas resistentes à altas temperaturas;
- peneira de aço inox em forma de cone, com abertura de 0,3 mm;
- recipiente revestido com teflon antiaderente: diâmetro de 18 cm e altura de 14 cm (Figura 3.1 (f));
- termopar (Figura 3.1 (f)), marca Testo, limite máximo: $T_{max}=230$ °C;
- amido comercial (Figura 3.1 (c)), marca Amisol 3408 ;
- óleo de palma (Figura 3.1 (f));
- farinha de milho comercial (Figura 3.1 (d)), marca Empanex; sendo a seguinte distribuição granulométrica disposta na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Distribuição granulométrica da farinha de milho comercial.

Abertura de peneira (mm)	Massa retida (%)
2,00	20,0
0,84	25,0
0,50	35,0
0,25	15,0
Fundo	5,0

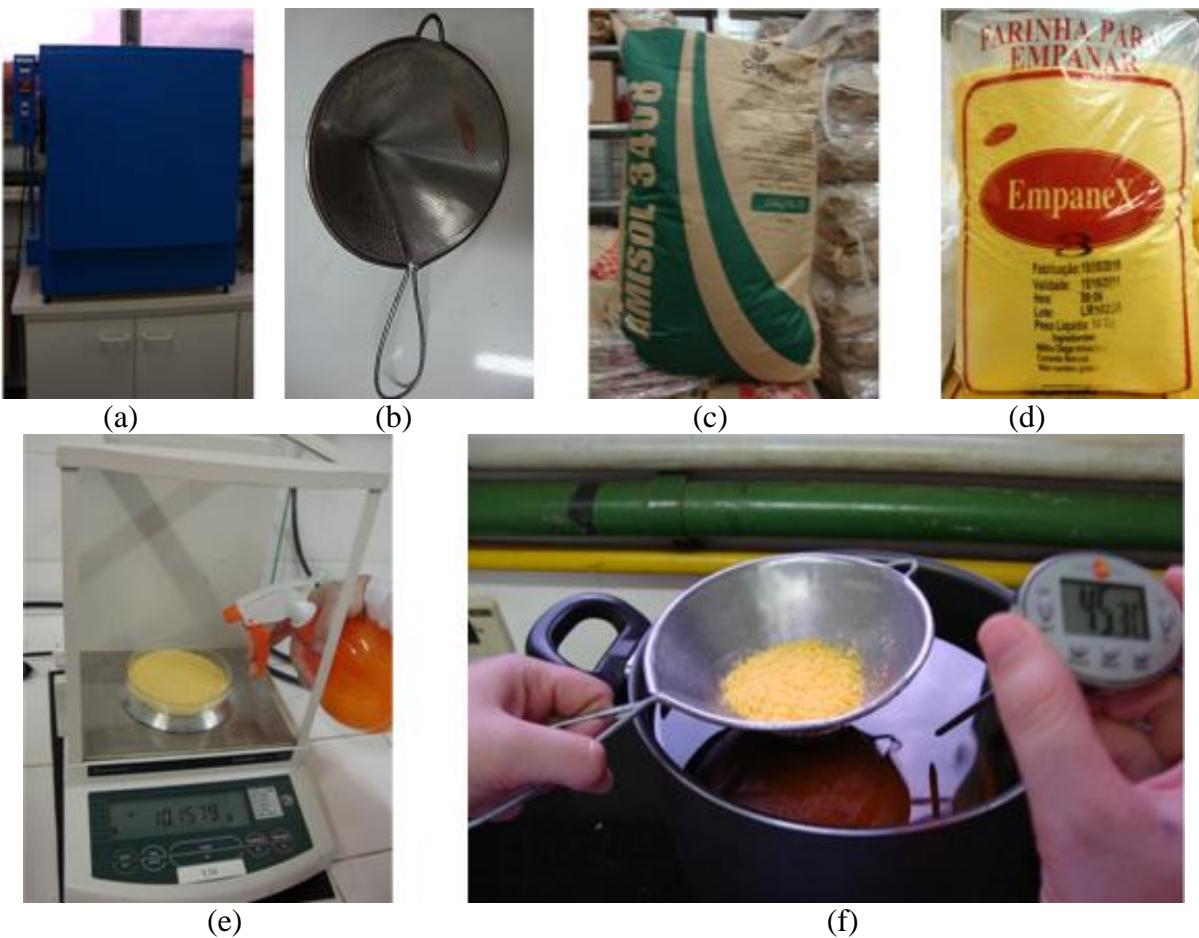


Figura 3.1 – Exemplos de equipamentos e materiais empregados: (a) estufa; (b) peneira de aço inox em forma de cone; (c) amido comercial; (d) farinha de milho comercial; (e) balança digital, placa Petri e recipiente com bico pulverizador; (f) termopar, recipiente de teflon antiaderente, óleo de palma.

3.2 Metodologia Experimental

A unidade experimental foi montada no Laboratório de Engenharia Bioquímica da Faculdade de Engenharia Química, onde foram realizados os experimentos para estudo da absorção de óleo em revestimentos de produtos empanados. A seguir são descritas as etapas que compõe o procedimento experimental.

3.2.1 Preparo da solução de amido gelatinizado

Inicialmente, água destilada foi aquecida até atingir a temperatura de 65°C, como mostra a Figura 3.2, que apresenta um esquema do preparo da solução de amido. Em seguida, amido foi acrescentado a fim de formar uma solução de 30 g de amido/100 g de solução, misturando-se continuamente até que a solução estivesse homogênea. Esta concentração de

solução foi selecionada experimentalmente, tendo como critério a obtenção de solução cuja viscosidade possibilitasse a pulverização desta sobre a amostra.

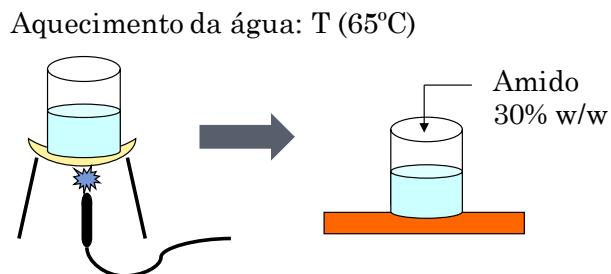


Figura 3.2 – Esquema do preparo da solução gelatinizada de amido.

3.2.2 Pré-tratamento da farinha

O tratamento da farinha de milho consistiu em pulverizar quantidades variáveis de solução de amido sobre esta farinha.

Este procedimento foi efetuado utilizando um pulverizador, contendo a solução de amido já pré-gelatinizada. Em seguida, 10 g de farinha de milho foram pesadas em balança, onde a amostra recebia a solução de amido (30% em massa), até atingir a concentração desejada (massa da amostra + massa de solução de amido), posteriormente esta amostra foi homogeneizada ao máximo, como auxílio de espátula, como exemplifica a Figura 3.3.

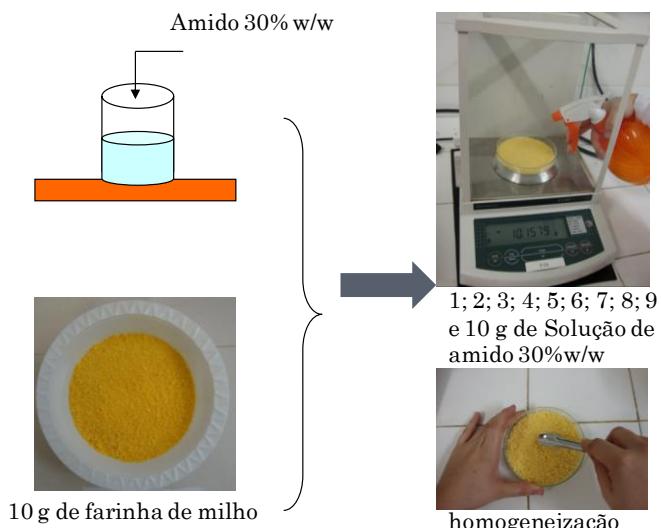


Figura 3.3 – Esquema do tratamento da farinha de milho com solução gelatinizada de amido, à diferentes concentrações.

3.2.3 Curvas de umidade das amostras

Objetivando a garantia de que as amostras de farinhas tratadas seriam comparadas todas com a mesma umidade, foi inicialmente realizada a quantificação de umidade em estufa, a 105°C.

A umidade corresponde à perda em peso sofrida pelo produto quando aquecido em condições nas quais a água é removida. O resíduo obtido no aquecimento direto é chamado de resíduo seco. O aquecimento direto da amostra a 105°C é o processo mais usual (IAL, 2005).

Para a execução da metodologia no Laboratório de Engenharia Bioquímica da Faculdade de Engenharia Química, foi utilizada estufa a 105°C estabilizada a essa temperatura por meia hora antes de sua utilização, balança de resolução de 0,1 mg, dessecador de vidro com sílica gel, placas de Petri, espátula e pinça.

As placas de Petri foram previamente aquecidas a 105°C em estufa por 2 horas. Em seguida, a temperatura das placas foi estabilizada à temperatura ambiente em dessecador de vidro com sílica gel e as massas das placas foram quantificadas utilizando a balança, sendo posteriormente codificadas. Foram colocadas 10 g de farinha de milho padrão (comercial) pura em placa Petri e em outra placa Petri 10 g de amido padrão (comercial), visando a determinação da umidade das amostras comerciais. Também foram pesadas e codificadas simultaneamente, amostras de farinha de milho tratada com a solução de amido.

No caso do preparo das amostras de farinha de milho tratadas, seguiu-se a metodologia descrita anteriormente de impregnação da farinha de milho com solução de amido. Isto é, manteve-se como padrão 10 g de farinha de milho e variou-se a quantidade de solução de amido acrescentada de 1 em 1g, no intervalo de 1 a 10 g de solução de amido. Com 10 g de farinha de milho (comercial) posicionada na balança, a solução de amido (30% m/m) já pré-gelatinizada, contida no recipiente com bico pulverizador, foi aplicada sobre a farinha de milho até atingir a quantidade de solução de amido desejada em cada amostra. No total 10 amostras foram preparadas e codificadas, variando-se a quantidade de solução de amido de 1 em 1g (1g, 2g, 3g, ..., 10g).

As amostras com farinha de milho impregnadas com solução de amido, bem como as amostras de padrões comerciais de amido e farinha de milho, foram levadas à estufa, à uma temperatura de 105°C, previamente estabilizada nesta temperatura por meia hora antes de sua utilização. As amostras foram retiradas a cada 5 minutos, procedeu-se o resfriamento à temperatura ambiente em dessecador e posterior determinação das massas e

conseqüentemente da umidade de cada amostra para cada tempo. Repetiu-se o procedimento até massa constante em cada uma das amostras. O teor de umidade determinado nos tratamentos foi obtido pela Equação 2:

$$\text{Umidade (\%m/m)} = (100 \times N) / P \quad (2)$$

na qual N refere-se à massa de umidade perdida em cada placa de Petri a determinado tempo e P é a massa em gramas no início do procedimento de determinação da umidade.

Tal procedimento foi realizado em triplicata para se determinar o teor de umidade (percentual) em cada amostra (farinha de milho padrão e amido padrão, bem como as amostras de farinha tratadas com a solução de amido) para determinados tempos de secagem, sendo possível a elaboração de curva de perda de umidade para cada amostra, possibilitando a padronização das amostras de farinha de milho tratadas em relação à amostra de farinha de milho comercial, sempre anterior à etapa de fritura durante os experimentos.

Com este procedimento, baseado nas curvas de umidade de cada amostra, foi possível o controle da variável umidade, visto que todas as amostras somente eram fritas após permanecerem em estufa à 105 °C pelo tempo necessário para atingirem o mesmo padrão de umidade da farinha de milho comercial.

3.2.4 Processo de fritura

A unidade experimental de fritura foi composta de recipiente revestido com teflon antiaderente contendo óleo de palma até a altura de 11 cm; uma fonte externa de calor; um cone de aço inox e termopar.

Para reduzir possíveis variações, foram feitas marcações no recipiente de fritura para garantir que todos os experimentos fossem conduzidos com o mesmo nível de óleo. Assim, 5,5 cm da parte inferior da peneira em forma de cone foram imersos em óleo, a fim de padronizar a distância entre a amostra a ser frita e o fundo da panela.

Para dar início ao procedimento de fritura, a temperatura do óleo era quantificada por meio de um termopar, até que se atingisse 194°C. A amostra foi então imersa no centro do recipiente contendo o óleo por cerca de 28 s. As condições de temperatura do óleo e tempo de fritura foram selecionadas visando reproduzir as condições operacionais de uma fábrica de empanados da região, parâmetros estes que estão de acordo com a literatura. Após a etapa de

fritura a amostra foi retirada do recipiente com óleo impregnado, transferida para uma placa Petri e submetida a resfriamento por cerca de 30 min, à temperatura ambiente.

A Figura 3.4 apresenta uma seqüência das unidades de fritura que foram testadas, sendo a Figura 3.4 (b), a que foi por fim utilizada nos experimentos finais.



Figura 3.4 – Evolução do processo de fritura durante este trabalho: (a) Unidade empregada nos testes iniciais; (b) Unidade empregada nos experimentos de fritura.

3.2.5 Método de determinação do teor de lipídeos na farinha de milho frita

Os lipídios são compostos orgânicos altamente energéticos, contêm ácidos graxos essenciais ao organismo e atuam como transportadores das vitaminas lipossolúveis. Os lipídios são substâncias insolúveis em água, solúveis em solventes orgânicos, tais como éter, clorofórmio e acetona, dentre outros. Estes são classificados em: simples (óleos e gorduras), compostos (fosfolipídios, ceras) e derivados (ácidos graxos, esteróis). Os óleos e gorduras diferem entre si apenas na sua aparência física, sendo que à temperatura ambiente os óleos apresentam aspecto líquido e as gorduras, pastoso ou sólido. (IAL, 2005)

A determinação do teor de lipídios em alimentos é feita, na maioria dos casos, pela extração com solventes, por exemplo, éter de petróleo. Quase sempre se torna mais simples fazer uma extração contínua em aparelho do tipo Soxhlet, seguida da remoção por evaporação ou destilação do solvente empregado (IAL, 2005).

Nesta etapa, as amostras são submetidas ao processo de extração de lipídios de acordo com a metodologia descrita pelo Método Físico-Químicos para Análise de Alimentos,

2005, de Adolfo Lutz . Neste procedimento procede-se à hidrólise ácida, tratamento prévio realizado para garantir à totalidade do teor lipídico extraído, e posterior extração lipídica com éter em extrator de Soxhlet, como esquematizado na Figura 3.5.

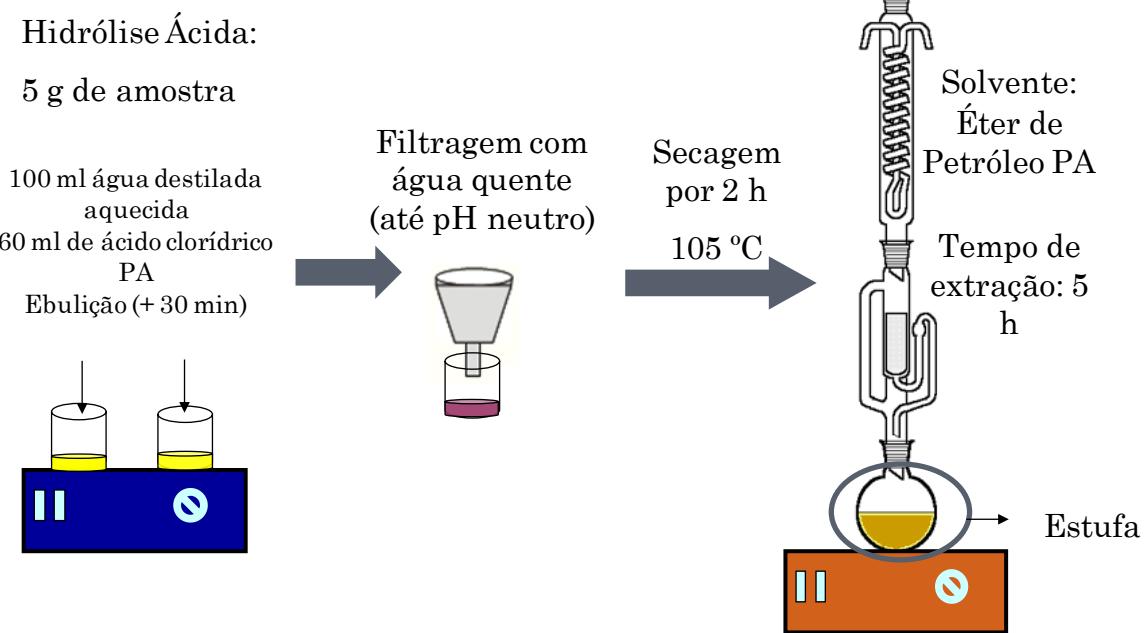


Figura 3.5 – Esquema da extração de óleo da amostra, por meio do Método de Soxhlet.

Esse procedimento consistiu na pesagem de 5g da amostra de farinha de milho (padrão e tratada com solução de amido) previamente frita e resfriada, como descrito anteriormente, em um béquer de 100 mL. A amostra era transferida para um béquer de 500 mL, usando 100 mL de água quente. Adicionava-se, com cuidado 60 mL de ácido clorídrico (37%) e algumas esferas de vidro. O béquer foi coberto com um vidro de relógio, colocado em uma chapa elétrica e aquecido até a ebulição, mantido durante 30 minutos. Adicionou-se 160 mL de água quente sobre a solução da amostra, lavando o vidro de relógio. A solução foi filtrada em papel de filtro previamente umedecido. O béquer e o resíduo do papel de filtro foram lavados por várias vezes, cuidadosamente com água quente, até que o filtrado exibisse reação neutra (teste com papel indicador de pH). O papel filtro contendo o resíduo foi colocado sobre outro papel de filtro seco em um vidro de relógio e levado para estufa à 105°C para a secagem. Após a secagem, foi confeccionado um cartucho com os papéis, usando o externo para envolver aquele em que estava a amostra. O cartucho foi transferido para o

aparelho extrator tipo Soxhlet. O extrator foi acoplado a um balão de fundo chato, previamente tarado a 105°C.

Adicionou-se éter de petróleo em quantidade suficiente para um Soxhlet e meio. O sistema foi acoplado em um condensador de bolas e o balão foi mantido sob aquecimento em chapa elétrica, por um período de extração de 4 horas. A extração da gordura era realizada em extratores de Soxhlet, devidamente montados no interior da capela de gases. Após este período o cartucho foi retirado, procedendo-se à etapa de recuperação do solvente (evaporação do éter). O balão com o resíduo extraído foi transferido para uma estufa a 105°C, mantido por cerca de uma hora. Após este período foi resfriado em dessecador até a temperatura ambiente e a seguir foi pesado. As operações de aquecimento foram repetidas por 30 minutos na estufa e resfriamento até peso constante do balão contendo o resíduo extraído.

IV - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, são apresentados os resultados relativos à determinação da umidade das amostras e o teste empregado para calcular o tempo ótimo de secagem para garantir uma umidade similar entre as amostras. Além disso, são apresentados os resultados relativos à extração de óleo da amostra frita e calculado o teor de absorção de óleo da amostra padrão e das amostras tratadas com solução de amido pré-gelatinizado.

4.1 Umidade

4.1.1 Determinação Experimental do teor de umidade do amido e da farinha de milho comercial

As Tabelas 4.1 e 4.2 apresentam o teor de umidade calculado para o amido comercial e a farinha de milho comercial, respectivamente. A umidade do amido comercial é cerca de 11,60 %, enquanto a umidade da farinha de milho é 9,40 %, sendo o teor de sólidos na farinha de milho de 90,60 %.

Assim, o teste umidade para as amostras tratadas deve quantificar o tempo de secagem para a que a umidade seja igual a da amostra padrão de farinha de milho, 9,40 %.

Tabela 4.1 – Cálculo experimental do teor de umidade do amido comercial.

Massa Úmida de amido [g]	Massa seca de amido [g]	Teor de umidade [%]	Teor de Sólido
10,3906	9,1914	11,5412	
10,2568	9,0740	11,5319	
10,2815	9,0788	11,6977	0,8841
Média	$10,3096 \pm 0,0712$	$9,1147 \pm 0,0664$	$11,5903 \pm 0,0932$

Tabela 4.2 – Determinação experimental do teor de umidade da farinha de milho comercial.

Massa Umidade da farinha de milho [g]	Massa seca de farinha de milho [g]	Teor de umidade [%]	Teor de Sólido
10,0977	9,1558	9,3279	
10,1584	9,1999	9,4355	
10,0365	9,0884	9,4465	0,9060
Média	$10,0975 \pm 0,0609$	$9,1480 \pm 0,0562$	$9,4033 \pm 0,0655$

4.1.2 Determinação do tempo de estufa necessário para que a farinha tratada atinja o valor da umidade da farinha comercial

O tempo ótimo de secagem foi determinado em teste em estufa, de acordo com a metodologia já descrita. Cada amostra foi retirada a cada 5 minutos e pesada. A Figura 4.1 apresenta a curva de perda de umidade com tempo para a amostra padrão, ou seja a farinha de milho comercial, sem nenhum tratamento, enquanto a Figura 4.2 apresenta as curvas de perda de umidade para as demais amostras tratadas.

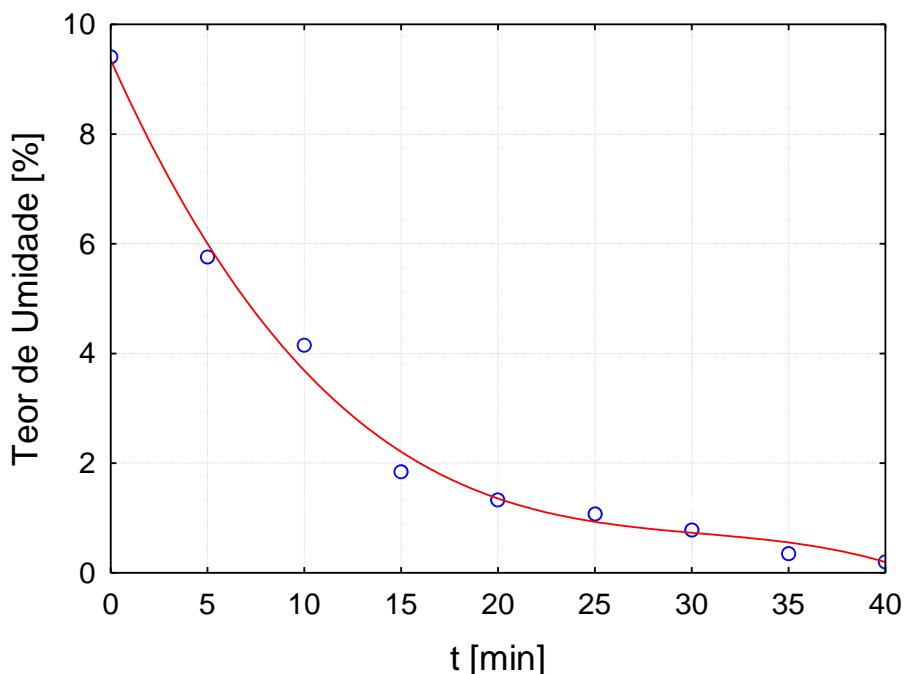


Figura 4.1 – Determinação do teor de umidade em função do tempo de secagem em estufa, para a farinha de milho comercial.

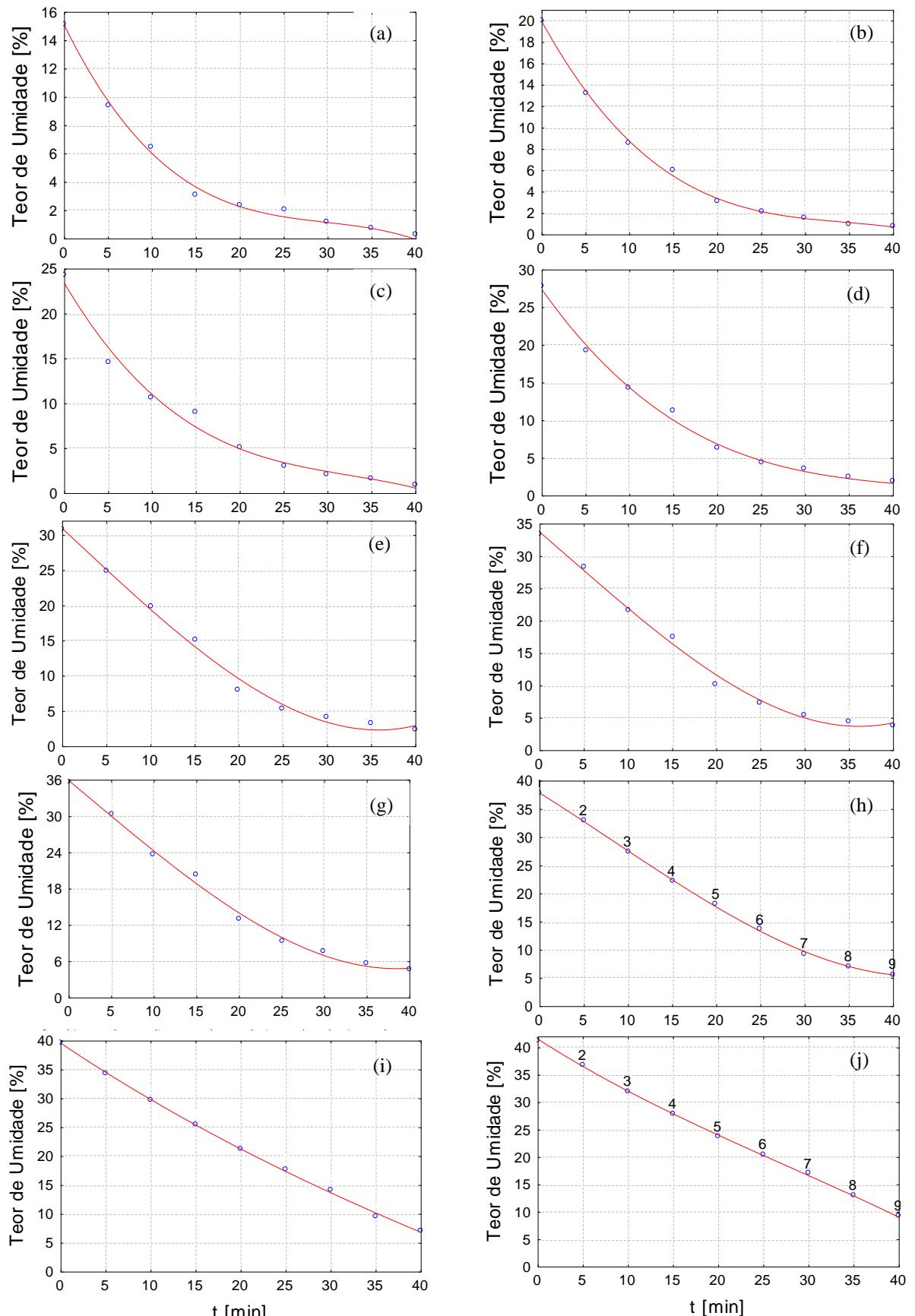


Figura 4.2– Determinação do teor de umidade em função do tempo de secagem em estufa, para a adição de diferentes massas de solução de amido (30% w/w) na farinha de milho: (a) 1 g; (b) 2 g; (c) 1 g; (c) 3 g; (d) 4 g; (e) 5 g; (f) 6 g; (g) 7 g; (h) 8 g; (i) 9 g e (j) 10 g.

Para determinar o tempo de estufa para que cada amostra atinja uma umidade de 9,40 %, foi ajustada uma curva que representou adequadamente os dados experimentais. A Tabela 4.3 apresenta o tempo ótimo de secagem, a equação utilizada para o ajuste e seus coeficientes, bem como o coeficiente de correlação quadrática de cada ajuste (R^2), que foi inferior a 0,9863.

Tabela 4.3 – Determinação experimental do tempo ótimo de estufa para que as amostras tratadas atinjam a mesma umidade da farinha de milho comercial.

Caso	Solução de Amido (30 % massa) [g]	Umidade em função do tempo para a adição de diferentes massas de solução de amido na farinha de milho				R^2 do ajuste	$t_{óptimo}$ [min]
		A1	A2	A3	A4		
a)	0,0	-0,27 e^{-3}	0,0247	-0,7868	9,3533	0,9940	0,0000
b)	1,0	-0,45 e^{-3}	0,0401	-1,2620	15,0775	0,9958	5,3500
c)	2,0	-0,40 e^{-3}	0,0413	-1,4941	19,9376	0,9985	9,1700
d)	3,0	-0,47 e^{-3}	0,0457	-1,6477	23,3862	0,9863	11,9800
e)	4,0	-0,29 e^{-3}	0,0365	-1,6385	27,3770	0,9960	15,8700
f)	5,0	0,34 e^{-3}	-0,0019	-1,1631	30,9295	0,9944	20,2500
g)	6,0	0,37 e^{-3}	-0,0038	-1,1750	33,7313	0,9958	22,7100
h)	7,0	0,30 e^{-3}	-0,0020	-1,1745	35,9115	0,9954	25,8500
i)	8,0	0,29 e^{-3}	-0,0072	-0,9838	37,8636	0,9994	30,5400
j)	9,0	-0,37 e^{-4}	0,0071	-1,0421	39,6044	0,9990	36,1900
k)	10,0	-0,14 e^{-3}	0,0116	-1,0520	41,5802	0,9990	39,5900

4.2 Determinação do Teor de Lipídeos

A Tabela 4.4 apresenta os resultados dos experimentos realizados, variando a massa de solução de amido acrescentada à massa inicial de 10 g de farinha de milho. Após a fritura, apenas 5 g de farinha frita foram submetidas à hidrólise ácida e posteriormente ao processo de extração de óleo. Assim, considerando o teor de absorção de óleo como a relação entre a massa de óleo extraída da amostra e a massa inicial da amostra, pode-se observar que a amostra sem o tratamento de amido gelatinizado apresenta 53,25 % de massa de gordura. Pode-se observar que para o Caso (a), com 1 g solução de amido gelatinizado, há uma diminuição substancial do teor lipídico da amostra. O mesmo se observa para todas as amostras tratadas, sendo que a condição em que ocorre a maior diminuição de absorção de óleo é a referente ao Caso (d), que apresenta 41,81 % de massa de gordura sobre a massa total da amostra. Neste caso, a redução na absorção de gordura de 21,5 % em massa, comparado

com a amostra comercial, não tratada com solução de amido. A Figura 4.3 mostra o teor de óleo absorvido na amostra em função da quantidade solução de amido adicionada.

Tabela 4.4 – Determinação da quantidade de óleo absorvido durante a fritura das amostras tratadas e da amostra padrão (sem tratamento, Caso (a)).

Caso	Massa de Farinha [g]	Massa da Solução de Amido (30 % w) [g]	Solução de Amido Inicial na amostra [%]	Amido na amostra [%]	Massa de farinha Frita [g]	Massa de Óleo Total [g]	Média da Porcentagem Total de Óleo [%]	Desvio da média [%]
a)	10,0	0,0	0,00	0,00	5,0	2,6649	53,25	0,069
b)	10,0	1,0	9,09	2,91	5,0	2,4496	48,88	0,114
c)	10,0	2,0	16,67	5,66	5,0	2,4084	48,14	0,069
d)	10,0	3,0	23,08	8,26	5,0	2,0951	41,81	0,127
e)	10,0	4,0	28,57	10,71	5,0	2,1036	42,04	0,108
f)	10,0	5,0	33,33	13,04	5,0	2,1033	42,03	0,069
g)	10,0	6,0	37,50	15,25	5,0	2,1037	42,04	0,134
h)	10,0	7,0	41,18	17,36	5,0	2,1036	42,01	0,074
i)	10,0	8,0	44,44	19,35	5,0	2,1036	42,04	0,063
j)	10,0	9,0	47,37	21,26	5,0	2,1026	42,04	0,080
k)	10,0	10,0	50,00	23,08	5,0	2,1049	42,05	0,079

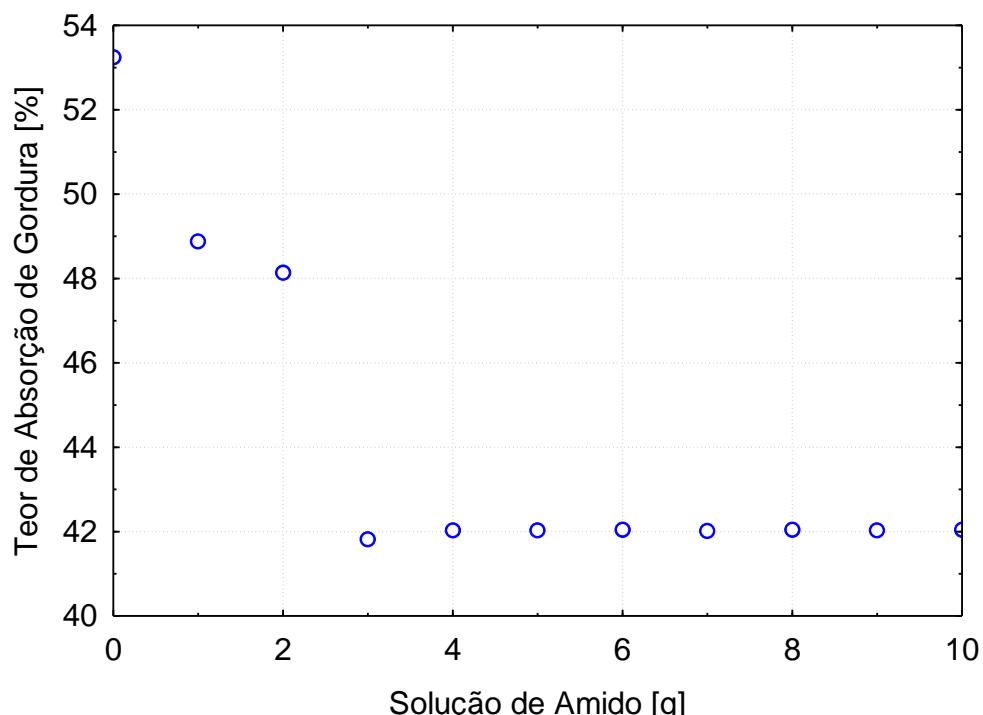


Figura 4.3 – Teor de óleo absorvido na farinha frita em função da quantidade de solução de amido adicionada à farinha de milho.

Aparentemente, a taxa de absorção lipídica não varia após o Caso (d), ou seja, tratamento com adição de 3 g de solução de amido.

A fim de verificar se há diferença significativa entre os tratamentos, foi realizado um teste estatístico de Diferenças entre Médias, que leva em conta as médias de dois tratamentos, o desvio padrão da população e o número da população analisada, lembrando que neste estudo, foram realizados experimentos para cada condição. Para tal, empregou-se o software Statistica. A Tabela 4.5 apresenta os resultados dessa análise. Quando comparados os Casos a) e d), ou seja, a amostra padrão e a com o melhor tratamento (3 g de solução de amido), podemos observar que o valor de p , probabilidade das médias serem iguais, é nulo, indicando que os valores são estatisticamente diferentes. O mesmo acontece quando comparados os Casos a) e b); e Casos c) e d).

O mesmo teste foi aplicado a fim de comparar os dois casos que tiveram a menor absorção de gordura, Casos d) – 41,81 % e Caso h) – 42,01 %. Os dados da Tabela 4.5 mostram que há uma probabilidade de apenas 0,72 % desses valores serem iguais, assim, considerando um intervalo de confiança de 95%, pode-se afirmar que esses valores são significativamente diferentes.

Tabela 4.5 – Teste de Diferença entre as médias da porcentagem total de gordura extraída.

Teste	Média 1	Desvio 1	Media 2	Desvio 2	N*	p [%]
Caso a) – d)	53,25	0,0687	41,81	0,1265	6	0
Caso a) – b)	53,25	0,0687	48,88	0,1143	6	0
Caso c) – d)	48,14	0,0694	41,81	0,1265	6	0
Caso d) – h)	41,81	0,1265	42,01	0,0735	6	0,72
Caso h) – k)	42,01	0,0735	42,05	0,0792	6	60,58

*Número de pontos

No entanto, quando compara-se o 2º e o 3º melhores casos, verifica-se que não há diferença entre eles, visto haver uma probabilidade p de 60,58% de que esses valores sejam iguais. Assim, é possível concluir que o melhor tratamento é na condição do Caso d) e que após essa condição, a adição de solução de amido não reduz a absorção de óleo durante a fritura, como resume a Figura 4.4.

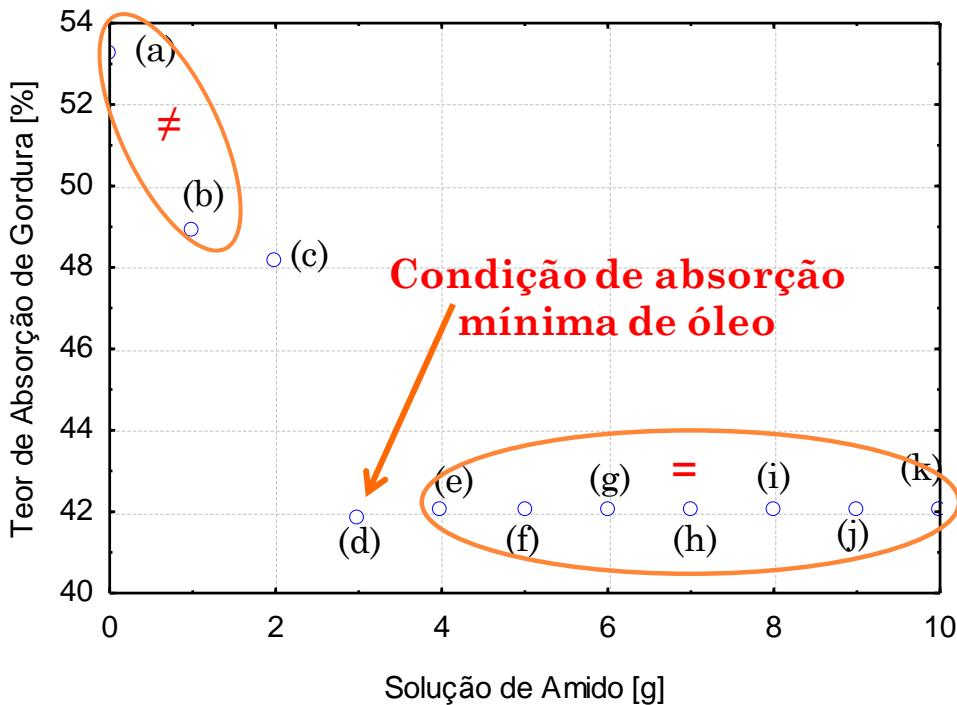


Figura 4.4 – Identificação da condição de menor absorção de gordura durante a fritura da farinha de milho.

A adição da solução gelatinizada de amido conduziu a menores valores de retenção de gordura na farinha de milho pré-frita. O filme formado pela solução de amido gelatinizado dificultou a transferência de massa de óleo para o interior dos poros da farinha de milho.

Em relação aos custos operacionais, pode-se demonstrar uma economia no processo, considerando os seguintes dados industriais:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Óleo de palma: R\$ 1,77/L; densidade: 0,910 g/mL} \\ \text{Amido: R\$ 1,04/kg} \end{array} \right.$$

A seguir será apresentada uma simulação econômica da condição de menor absorção de óleo (10 g de farinha de milho impregnada com 3,0 g de solução de amido pré-gelatinizado) *versus* condição de maior absorção de óleo (10g de farinha de milho comercial pura). Será utilizada como base de cálculo a quantidade de 5,0g que foi empregada nos experimentos de extração do teor lipídico.

Para a condição de menor absorção, 5,0 g de farinha pré-frita impregnada com 1,5 g de solução de amido pré-gelatinizado, estavam presentes 0,45 g de amido. Foram extraídos 2,09 g de óleo de palma, ou seja, 2,30 mL.

Já para a condição de maior absorção de óleo, a amostra era composta apenas 5,0 g de farinha de milho comercial pura. Foram extraídos 2,66 g de óleo de palma, ou seja, 2,93 mL.

Isto é, durante a etapa de pré-fritura de 5 g de farinha de milho devidamente impregnada com solução de amido pré-gelatinizado economiza-se 0,63 mL de óleo, que deixarão de ser absorvidos devido à barreira formada pelo filme de amido. Assim, economiza-se 1L de óleo a cada 8 kg de farinha de milho devidamente tratada.

Considerando que são necessários 0,45 g de amido para obter a economia de 0,63 mL de óleo, tem-se que, para economizar 1 L de óleo, deve-se utilizar 0,714 kg de amido.

$$+ 1 \text{ L de óleo de palma} = + \text{R\$ 1,77}$$

$$- 0,714 \text{ kg de amido} = - \text{R\$ 0,742}$$

$$\text{Economia} \rightarrow + \text{R\$ 1,03/(L de óleo não absorvido na etapa de pré-fritura da farinha tratada)}$$

Isto é, adotando-se o tratamento prévio de selagem dos poros da farinha de milho com a solução de amido pré-gelatinizado e considerando o custo operacional do óleo de palma e do amido, economiza-se R\$1,03 a cada litro de óleo que deixará de ser absorvido pela farinha de milho na etapa de pré-fritura.

V - CONCLUSÕES

Neste trabalho foram abordados os principais aspectos relacionados ao processo de fritura e os mecanismos de absorção de óleo. Com base nos diversos recobrimentos de alimentos fritos propostos na literatura, buscou-se desenvolver neste trabalho um tratamento da farinha de milho que é empregada no processo de empanamento de *steaks* e *nuggets*, a fim de reduzir a absorção de óleo, que se dá em sua maior parte nesta farinha de recobrimento.

Assim, diferentes quantidades de uma solução à base de amido (30% em massa) foram adicionadas a farinha de milho, mantendo-se a umidade constante.

Os resultados mostraram que adição da solução gelatinizada de amido à mostra conduziu a menores valores de retenção de gordura no produto frito.

A condição que apresentou o melhor resultado foi a adição de 3 g da solução gelatinizada de amido em 10 g de farinha de milho, com uma redução de 21,5 % na absorção de óleo, quando comparada com a absorção de óleo na amostra padrão. Acredita-se que esta condição continha solução suficiente para recobrir as partículas de farinha e que ocorreu a formação de filme gelatinoso, que se comportou como uma resistência à entrada de gordura para o alimento, promovendo a selagem dos poros da farinha de milho.

No mercado de alimentos, tem crescido a procura por alimentos com teor calórico reduzido. Assim, este trabalho contribui para o desenvolvimento de um produto frito menos calórico, que possibilita ao consumidor desfrutar o sabor único que o processo de fritura proporciona aos alimentos.

Além disso, a implementação desse recobrimento à base de amido no processo industrial, ao reduzir a retenção de gordura durante a pré-fritura, reduzirá a quantidade de óleo que deve ser reposta ao processo, reduzindo o custo operacional do mesmo.

VI - SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para continuação desse estudo, pode-se sugerir:

- Estudar o efeito da concentração de amido na solução gelatinizada, visto que esta concentração modifica a viscosidade da solução, influenciando o espalhamento desta sobre a superfície da amostra;
- Fazer um estudo de imagem da superfície, empregando microscopia eletrônica de varredura, a fim de caracterizar o filme formado;
- Aplicar o tratamento com solução de amido diretamente sobre o produto a ser frito e avaliar a absorção de óleo;
- Testar outros filmes gelatinosos a partir de outras substâncias hidrocolóides, tanto nas farinhas de empanamento, quanto no *batter*.

VII - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DA ALIMENTAÇÃO. São Paulo. O mercado de food service. <http://www.abia.org.br/congressofoodservice2008/telas/food-service.asp>, acesso em: 01/06/2009.
- ACHIR, N., VITRAC, O., TRYSTRAM, G. Heat and Mass Transfer During Frying. In: SAHIN, S., SUMNU, S. G., Advances in deep fat frying foods, CRC Press Taylor & Francis Group, 2009, ISBN 978-1-4200-5558-0.
- AC NIELSEN. Leitura bimestral de empanados. Junho/julho de 2006.
- AGUILERA, J.M. Fritura de Alimentos, in Temas en Tecnología de Alimentos, México, ed. J.M. Aguilera, 1997, pp 187–214.
- AGUILERA, J. M., GLORIA, H. Oil Absorption During Frying of Frozen Parfried Potatoes, J. Food Science, vol. 65, p. 476–479, 2000.
- ALLANSON, J. Inovações em tecnologias de sistemas de cobertura nos mercados europeus de carnes e peixes. Food Ingredients, São Paulo, p.31-35, 1999.
- ANON, Methocel Food Gums in Fried Foods. Dow Chemicals, Midland, MI, USA. 1987
- ASHKENAZI, N., MIZRAHI, S., BERK, Z., Heat and Mass Transfer in Frying. In: Engineering and Food, ed. B.M. McKenna, Elsevier Applied Science, London, 1984, pp 109–116.
- BAIXAULI, R., SANZ, T., SALVADOR, A., FISZMAN, S.M. Effect of addition of dextrin or dried egg on the rheological and textural properties of batters for fried foods. Food Hydrocolloids, vol. 17(3), p. 305–310, 2003.

- BAJAJ, I., SINGHAL, R. Gellan gum for reducing oil uptake in sev, a legume based product during deep-fat frying. Food Chemistry, vol. 104, p. 1472–1477, 2007.
- BANKS, D. Food Service Frying, in Deep Frying, ed. E.G. Perkins, M.D. Erickson, AOAC Press, Champaign, 1996, p. 245–257.
- BAUMANN, B., ESCHER, E. Mass and Heat Transfer During Deep Fat Frying of Potato Slices -1 Rate of Drying and Oil Uptake, Lebensm. Wiss. Technol., vol. 28, p. 395–403, 1995.
- BERGER, K. G. The practice of frying. Porim Technology, vol. 9, n. 5, p. 1-34, 1984.
- BERTAN , L. C., Desenvolvimento e Caracterização de Filmes Simples e Compostos a base de Gelatina, Ácidos Graxos e Breu Branco, Campinas, UNICAMP, 2003.
- BLUMENTHAL, M.M. A New Look at the Chemistry and Physics of Deep- Fat Frying, Food Chem., vol. 45, p. 68–71, 1991.
- BLUMENTHAL, M. M., STIER. R.F. Optimization of deep-fat frying operations. Trends in Food Science and Technology, vol.2, p. 144–148, 1991.
- BORTOLUZZI, R. C. Empanados. In: OLIVO, R., O mundo do frango: cadeia produtiva da carne de frango. Criciúma, Ed. Do Autor, p. 481–494. 2006.
- BOUCHON, P. Modelling Oil Uptake During Frying, Reading, University of Reading, 2002.
- BOUCHON, P., Frying. In: BRENNAN, J. G., Food Processing Handbook, WILEY-VCH , Germany, 2006, ISBN: 3-527-30719-2
- BOUCHON, P., PYLE, D. L. Studying Oil Absorption in Restructured Potato Chips, J. Food Sci., vol. 69, p. 115–122, 2004.
- BOUCHON, P, PYLE, D. L., Modeling oil absorption during post-frying cooling II: Solution of the Mathematical Model, Food and Bioproducts Processing, vol. 83(C4), p. 261–272, 2005.
- BROWNER, W. S., WESTONHOUSE, J., TICE, J. A. What if Americans Ate Less Fat? A Quantitative Estimate of the Effect on Mortality, J. Am. Med. Assoc., vol. 265, p. 3285–3291, 1991.

- CARSLAW, H. S., JAEGER, J.C. Conduction of Heat in Solids, 2º ed., New York, Oxford University Press, 1959.
- CELLA, R. C. F.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B.; SPOTO, M. H. F. Comportamento do óleo de soja refinado utilizado em fritura por imersão com alimentos de origem vegetal. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, vol. 22, n. 2, p. 111–116, 2002.
- CHANDRA, R., RUSTGI, R. Biodegradable Polymers. Elsevier Science Ltd. Grã-Bretanha, 1998, vol. 23, p. 1276.
- COSTA, R. M., OLIVEIRA, F. A. R., DELANEY, O., GEKAS, V. Analysis of the Heat Transfer Coefficient During Potato Frying. J. Food Eng., vol. 39, p. 293–299, 1999.
- COSTA NETO, P.R.; FREITAS, R.J.S.; WASZCZYNSKYJ, N. Avaliação sensorial de pastéis fritos em óleo de soja com diferentes tempos de aquecimento. Boletim do CEPPA, Curitiba, vol. 13, n. 2, p.91-98, 1995.
- CUNNINGHAM, F.E., TIEDE, L.M. Influence of batter viscosity on *breading* of chicken drumsticks. Journal of Food Science, vol. 46, p. 1950–1952, 1981.
- DEL RÉ, P. V. Comportamento de óleos vegetais em frituras descontínuas de produtos pré-fritos congelados. São José do Rio Preto, Universidade Estadual Paulista, 2003. 121p.
- DILL, D. D., SILVA, A. P., LUVIELMO, M. M., Processamento de empanados: sistemas de cobertura, Estudos Tecnológicos, vol. 5, n° 1, p. 33-49, 2009.
- DOBARGANES, M. C., MÁRQUEZ-RUIZ, G., VELASCO, J. Interactions between fat and food during deep-frying. European Journal of Lipid Science and Technology, Weinheim, vol. 102, p. 521- 528, 2000.
- DOGAN, S.F., SAHIN, S., SUMNU, G. Effects of batters containing different protein types on the quality of deep-fried chicken nuggets. European Food Research and Technology, vol. 230, p. 502–508.
- DUXBURY, D.D. Fat reduction without adding fat replacers. Food Processing, vol.3, p. 68–70, 1993.

- FAN, L.L., ARCE, J.A. Pretreatment of fried food products with oil containing emulsifiers. U.S.Patent. 4.608.264, 1986.
- FARID, M.M., CHEN, X.D. The Analysis of Heat and Mass Transfer During Frying of Food Using a Moving Boundary Solution, Heat Mass Transfer, vol. 34, p. 69–77, 1998.
- FARINU, A. BAIK. O.D. Deep fat frying of foods. Transport phenomena. Food Reviews International, vol. 21, p. 389–410, 2005.
- FARINU, A., BAIK, O.-D. Heat transfer coefficients during deep fat frying of sweetpotato: Effects of product size and oil temperature, Food Research International, vol. 40, p. 989–994, 2007.
- FARKAS, B. E. Modelling Immersion Frying as a Moving Boundary Problem, Davis., University of California, 1994.
- FARKAS, B. E., SINGH, R. P., MCCARTHY, M.J., Modeling Heat and Mass Transfer in Immersion Frying, I. Model Development, J. Food Eng., vol. 29, p. 211– 226, 1996a.
- FARKAS, B. E., SINGH, R. P., RUMSEY, T.R., Modeling Heat and Mass Transfer in Immersion Frying, II, Model Solution and Verification, J. Food Eng., vol. 29, p. 227– 248, 1996b.
- FARKAS, B. E., SINGH, R. P., MCCARTHY, M.J. Measurement of Oil/Water Interface in Foods During Frying. In: Advances in Food Engineering, ed. R. P. Singh, CRC Press, Boca Raton, 1992, p. 237–245.
- FEENEY, R.D.; HARALAMPU, S.G.; GROSS, A.T. Potato and other food products coated with edible oil barrier films. U.S. Patent 5.217.736; 1993.
- FELLOWS, P. J. Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática. 2 ed. Porto Alegre: Artmed, 2007. p. 367-374.
- FERREIRA, T. Qualidade na mesa. Bares & Restaurantes, ano 10, n. 50, p. 20-24, 2006.
- FERRERO, C, ZARITZKY, N. E., Effect of freezing rate and frozen storage on starch– sucrose–hydrocolloids system. J Sci Food Agric., vol. 80, p. 2149–2158, 2000.

- FISZMAN, S.M., SALVADOR,. A. Recent developments in coating batters. Trends in Food Science and Technology, vol. 14, nº 10, p. 399–407, 2003.
- FISZMAN, S., Quality of Battered or Breaded Fried Products, In: SAHIN, S., SUMNU, S. G. Advances in deep fat frying foods, CRC Press Taylor & Francis Group, 2009, ISBN 978-1-4200-5558-0.
- FREITAS, D., BERBARI, G. C., GARCIA, S. A., PRATI, P., FAKHOURI, F. M., QUEIROZ, F. P. C, VICENTE, E., Reducing of fat uptake in cassava product during deep-fat frying, Journal of Food Engineering, vol. 94, p. 390, 2009.
- GAMBLE, M.H., RICE. P. Effect of pre-fry drying of oil uptake and distribution in potato crisp manufacture. International Journal of Food Science & Technology, vol. 22, nº 5, p. 535–548, 1987.
- GAMBLE, M.H., RICE, P. Effect of Initial Solids Content on Final Oil Content of Potato Chips, Lebensm. Wiss. Technol., vol. 21, p. 62–65, 1988.
- GAMBLE, M.H., RICE, P. The Effect of Slice Thickness on Potato Crisp Yield and Composition, J. Food Eng., vol. 8, p.31–46, 1989.
- GARCIA, M.A., FERRERO, C., CAMPANA, A., BERTOLA, N., MARTINO, M., ZARITZKY, N. Methylcellulose coatings applied to reduce oil uptake in fried products. Food Science and Technology International, vol. 10, nº 5, p. 339–346, 2004.
- GAMBLE, M.H., RICE, P., SELMAN, J.D. Relationship Between Oil Uptake and Moisture Loss During Frying of Potato Slices from c.v. Record UK Tubers, Int. J. Food Sci. Technol., vol. 22, p. 233– 241, 1987.
- GERRISH, T., C. HIGGINS, AND K. KRESL. Method of making battered and/breaded food compositions using calcium pectins. U.S. Patent 5601861, 1997.
- GUILBERT, S., Technology and application of edible protective film. In: Food Packaging and Preservation, New York, Edr. M. Mathlouthi, Elsevier Apiled Science Publishers, Ch 19, 1986, p.371–394.

- GUILBERT, S.; CUQ, B.; GONTARD, N. Recent innovations in edible film and/or biodegradable packaging materials. Food Additives and Contaminants, London, vol.14, n.6-7, p.741–751, 1997.
- GUILLAUMIN, R. Kinetics of fat penetration in food. In: VARELA, G.; BENDER, A. E.; MORTON, I. A. (Eds.). Frying foods: principles, changes, new approaches. Chichester, Ellis Horwood, 1988. p. 82–90.
- HARDENBURG, R.E., Wax and related coatings for horticultural products. A bibliography. Agricultural Research Service Bulletin 51-15. United States department of Agriculture. Washington, 1967.
- HENDERSON, A. Cellulose ethers -The role of thermal gelation. In: Gums and Stabilizers for the Food Industry, 4. Ed, Phillips G O, Wedlock B J & Williams P A. IRL Press, Oxford, UK, 1988. P. 265–273.
- HINDRA, F., BAIK, O.D. Kinetics of quality changes during food frying. Critical Review in Food Science and Nutrition, vol. 46, p. 239–258, 2006.
- HSIA, H.Y., D.M. SMITH, STEFFE, J.F. Rheological properties and adhesion characteristics of flour-based batters for chicken nuggets as affected by three hydrocolloids. Journal of Food Science, vol. 57, n° 1, p. 16–18, 1992.
- HOLOWNIA, K.I., M.S. CHINNAN, M.C. ERICKSON, MALLIKARJUNAN, P. Quality evaluation of edible film-coated chicken strips and frying oils. Journal of Food Science, vol. 65, p.1087–1090, 2000.
- HUBBARD, L. J., FARKAS, B. E. A Method for Determining the Convective Heat Transfer Coefficient During Immersion Frying, J. Food Process Eng., vol. 22, p.201–214, 1999.
- HUBBARD, L. J., FARKAS, B. E. Influence of Oil Temperature on Convective Heat Transfer During Immersion Frying, J. Food Process. Preserv., vol. 24, p. 143–162, 2000.
- JEZEK, D., BRNCIC, M, BRNXIX , S. R., KARLOVIC , S., BOSILJKOV, T., TRIPALO, B., KARLOVIC, D., SIPUSIC, J., PUKEC, D., Porosity of Deep Fat Fried Breaded Chicken Meat, Food Technol. Biotechnol., vol. 47, n° 4, p. 389–395, 2009.

- JORGE, N., LUNARDI, V. M., Influência dos tipos de óleos e tempos de fritura na perda de umidade e absorção de óleo em batatas fritas, Ciênc. agrotec., vol. 29, nº 3, Lavras, 2005.
- KATO, A., NAKAI, S. Hydrophobicity determined by a Fluorescence probe method and its correlation with surface properties of proteins. Biochim Biophys Acta, vol. 624, p. 13–20, 1980.
- KELLER, C., ESCHER, F., SOLMS, J. A. Method of Localizing Fat Distribution in Deep-Fat Fried Potato Products, Lebensm. Wiss. Technol., vol. 19, p. 346–348, 1986.
- KESTER, J.J.; FENNEMA, O.R. Edible films and coatings: a review. Food Technology, vol.40, nº 12, p.47–59, 1986.
- KHALIL, A. H. Quality of french fried potatoes as influence by coating with hydrocolloids. Food Chemistry, vol. 66, p. 201–208, 1999.
- KING, C. J. 1970, Freeze Drying of Foodstuffs, Crit. Rev. Food Technol. 1, 379–451.
- KOCHHAR, S.P. Security in Industrial Frying Processes, Grasas Aceites, vol. 49, p. 282–302, 1998.
- KOZEMPEL, M. F., TOMASULA, P. M., CRAIG, J. C. JR. Correlation of Moisture and Oil Concentration in French Fries, Lebensm. Wiss. Technol., vol. 24, p. 445–448, 1991.
- KROCHTA, J. M. , MULDER-JOHNSTON, C. Food Technology, vol. 51, p. 61, 1997.
- KROKIDA, M.K., OREOPOULOU, V., MAROULIS, Z.B. Water loss and oil uptake as a function of frying time, Journal of Food Engineering, vol. 44, p. 39–46, 2000.
- KRUGER, A., FERRERO, C., ZARITZKY, N. E., Modelling corn starch swelling in batch systems: effect of sucrose and hydrocolloids. J. Food Eng., vol. 58, p. 125–133, 2003.
- KUBOW, S. Toxicity of dietary lipid peroxidation products. Trends in Food Science and Technology, Cambridge, p. 67–71, 1990.
- KUNTZ, L. A., Building better fried foods. Food Product Design, vol. 5, p. 129–146, 1995.

- LAMBERG, I., B. HALLSTORM, OLSSON, H. Fat uptake in a potato drying/frying process. Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie, vol. 23, p. 295–300, 1990.
- LINDSAY, R. CFood additives. In: Food Chemistry, 2º ed. ; Fennema O R. Marcel Dekker Inc, NY, USA, 1985, p. 660.
- LISINSKA, G., LESZCZYNSKI, W. Potato Science and Technology, Elsevier Applied Science, London, 1991.
- LOEWE, R. Role of ingredients in batter systems. Cereal Foods World, vol. 38, p. 673–677, 1993.
- LULAI, E. G., ORR, P.H. Influence of Potato Specific Gravity on Yield and Oil Content of Chips, Am. Potato J., vol. 56, p. 379–390, 1979.
- MALLIKARJUNAN, P.; CHINNAN, M.S.; BALASUBRAMANIAM, V.M.; PHILLIPS, R.D. Edible coatings for deep-fat frying of starchy products. Lebensm.- Wiss. U.-Technology, vol.30, nº 7, p.709–714, 1997.
- MEYERS, M.A., CONKLIN, J.R. Method of inhibiting oil adsorption in coated fried foods using hydroxypropyl methyl cellulose. U.S. Patent 4900573. Assignee: The Dow Chemical, 1990.
- MEYERS, M.A. Functionality of hydrocolloids in batter coating systems. In: KULP K., LOEWE, R. Batters and breadings in food processing, ed. St Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists, 1990. p. 117–141.
- MILLER, K. S., SINGH, R. P., FARKAS, B. E. Viscosity and Heat Transfer Coefficients for Canola, Corn, Palm and Soybean Oil, J. Food Process. Preserv., vol. 18, p. 461–472, 1994.
- MOHAMED, S., HAMID, N. A., HAMID, M. A. Food Components Affecting the Oil Absorption and Crispness of Fried Batter. J. Sci. Food Agric., vol. 78, p. 39–45, 1998.
- MOREIRA, R. G., CASTELL-PEREZ, M.E., BARRUFET, M.A. Deep-Fat Frying: Fundamentals and Applications, Aspen Publications, Gaithersburg, 1999.

- MOREIRA, R. G., SUN, X., CHEN, Y. Factors Affecting Oil Uptake in Tortilla Chips in Deep-fat Frying, *Journal of Food Engineering*, vol. 31, p. 485–498, 1997.
- MOREIRA, R.G., BARRUFET, M. A. Spatial distribution of oil after deep-fat frying of tortilla chips from a stochastic model. *Journal of Food Engineering*, vol. 27, p. 279–290, 1996.
- MUKPRASIRT, A. T., HERALD, J., BOYLE, D. L., BOYLE, E. A. E. Physicochemical and Microbiological Properties of Selected Rice Flour-Based Batters for Fried Chicken Drumsticks, *Poultry Science*, vol. 80, p. 988–996, 2001.
- NGADI, M., ADEDEJI, A. A., KASSAMA, L., Microstructural Changes During Frying of Foods. In: SAHIN, S., SUMNU, S. G., *Advances in deep fat frying foods*, CRC Press Taylor & Francis Group, 2009, ISBN 978-1-4200-5558-0.
- NI, H., DATTA, A. K. Moisture, Oil and Energy Transport During Deep-Fat Frying of Food Materials, *Trans.IChemE Part C*, vol. 77, p. 194–204, 1999.
- NONAKA, M., SAYRE, R. N., WEAVER, M.L. Oil Content of French Fries as Affected by Blanch Temperatures, Fry Temperatures and Melting Point of Frying Oils, *Am. Potato J.*, vol. 54, p. 151–159, 1977.
- OETTERER, M., DARCE, M.A.B.R., SPOTO, M. Fundamentos de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Editora Manole, 2004.
- OLEWNIK, M., KULP, K. Factors affecting performance characteristics of wheat flour in batters. In: KULP, K.; LOEWE, R. (Eds.). *Batters and breading in foods processing*. Minnesota: American Association of Cereal Chemistry, 1990. p. 93–116.
- OLSON, S., ZOSS, R. Fried foods of reduced oil absorption and methods of preparation employing spray of film forming agent. U.S.A. Patent 4511583. Assignee: General Mills, 1985.
- PARKINSON, T. L., The chemical composition of eggs. *J. Sci. Food Agric.*, vol. 17, nº 3, p. 100, 1966.
- PEDRESCHI, F., AGUILERA, J. M., ARBILDUA, J. J. CLSM Study of Oil Location in Fried Potato Slices, *Microsc. Anal.*, vol. 37, p. 21–22, 1999.

- PEETTITT, D.J., Xanthan gum. In: Food Hydrocolloids, Vol. I, ed. By Martin G. CRC Press, Boca Raton, FL, 1982, p. 128–149.
- PINTHUS, E.J., P. WEINBERG, SAGUY, I.S. Criterion for oil uptake during deep-fat frying. Journal of Food Science, vol. 58, nº 1, p. 204–205, 1993.
- PINTHUS, E. J., SAGUY, I.S. 1994, Initial Interfacial Tension and Oil Uptake by Deep-Fat Fried Foods, *J. Food Sci.* 59, 804–807, 823, 1994.
- PINTHUS, E.J., WEINBERG, P., SAGUY. I.S. Oil uptake in deep fat frying as affected by porosity. Journal of Food Science, vol. 60, nº 4, p. 767–69, 1995.
- POKORNY, J. Effect of Substrates on Changes of Fats and Oils During Frying. Riv. Ital. Sostanze Grasse, vol. 57, p. 222–225, 1980.
- POZO-DÍEZ, R. M. Estudio del proceso de fritura de alimentos frescos y congelados prefritos: comportamiento del aceite de semilla de girasol de alto contenido en ácido oleico. Universidad de Alcalá de Henares, Espanha, 1995. 338p.
- QUERIDO, A. F. Estudo da influência de técnicas na minimização da incorporação de óleo durante o processo de fritura de maçã, Campinas, UNICAMP, 2005. 193p.
- RAHMAN, M. S., AL-AMRI, O. S., AL-BULUSHI, I. M., Pores and physico-chemical characteristics of dried tuna produced by different methods of drying. J. Food Eng., vol. 53, p. 301–313, 2002.
- REGULAMENTO TÉCNICO DE IDENTIDADE E QUALIDADE. Instrução normativa nº 6, de 15 de fevereiro de 2001. Portaria Ministerial nº 574, de 8 de dezembro de 1998, http://www.engetecno.com.br/port/legislacao/carnes_prod_salgados.htm acessado em 10/12/2010.
- ROSSEL, J. B. Industrial Frying Process. Grasas Aceites, vol. 49, p. 282–295, 1998.
- SAGUY, I. S., GREMAUD, E., GLORIA, H., TURESKY, R. J. Distribution and Quantification of Oil Uptake in French Fries Utilizing Radiolabeled ¹⁴C Palmitic Acid. J. Agric. Food Chem., vol. 45, p. 4286–4289, 1997.

- SAGUY, I. S., UFHEIL, G., LIVINGS, S. Oil Uptake in Deep-Fat Frying: Review. Oleag. Corps Gras Lipids, vol. 5, p. 30– 35, 1998.
- SAGUY, I. S., PINTHUS, E. J. Oil Uptake During Deep-Fat Frying: Factors and Mechanism. Food Technol., vol. 49, p. 142– 145, 1995.
- SAHIN, S., SASTRY, S. K., BAYINDIRLI, B. Heat Transfer During Frying of Potato Slices. Lebensm. Wiss. Technol., vol. 32, p. 19–24, 1999.
- SAHIN, S., SUMNU, G., ALTUNAKAR, B., Effects of batters containing different gum types on the quality of deep-fat fried chicken nuggets. Journal of the Science of Food and Agriculture, vol. 85, p. 2375–2379, 2005.
- SANTOS, P.V. Elaboração, Aditivação e caracterização de biofilmes à base de fécula de mandioca. Campinas, UNICAMP, 2004. 252p.
- SANZ, T., SALVADOR, A., FISZMAN, S.M. Effect of concentration and temperature on properties of methylcellulose-added batters. Application to battered, fried seafood. Food Hydrocolloids, vol. 18, p. 127–131, 2004.
- SANZ, T., SALVADOR, A., VELEZ, G., MUÑOZ, J., FISZMAN, S.M. Influence of ingredients on the thermo-rheological behavior of batters containing methyl-cellulose. Food Hydrocolloids, vol. 19, p. 869–77, 2005.
- SANZ, T., SALVADOR, A., Rheology of Batters Used in Frying. In: SAHIN, S., SUMNU, S. G. Advances in deep fat frying foods. CRC Press Taylor & Francis Group, 2009, ISBN 978-1-4200-5558-0.
- SELMAN, J. D., HOPKINS, M. Factors Affecting Oil Uptake During the Production of Fried Potato Products, Technical Memorandum 475, Campden Food and Drink Research Association, Chipping Campden, 1989.
- SINGH, R. P., Heat and Mass Transfer in Foods During Deep-Fat Frying. Food Technol., vol. 49, p. 134– 137, 1995.
- SHIH, F., DAIGLE, K. Oil uptake properties of fried batters from rice flour. Journal of Agriculture and Food Chemistry, vol. 47, p. 1611–1615, 1999.

- SHINSATO, E., HIPPLEHEUSER, A.L., VAN BEIRENDONCK, K. Products for batter and coating systems. The World of Ingredients, January–February, p. 38–42, 1999.
- SHINSATO, E.; USHIJIMA, H.H.; CUNHA, A.F. Amido modificado para empanados. Food Ingredients, vol. 16, p. 112–113, 2002.
- STIER, R. F. Chemistry of frying and optimization of deep-fat fried food flavor - An introductory review. European Journal of Lipid Science and Technology, vol. 102, p. 507–14, 2000.
- STIER, R.F. Frying as a science- An introduction. European Journal of Lipid Science and Technology, vol. 106, p. 715–21, 2004.
- UEMURA, C. H., LUZ, M.B. Sistemas de cobertura. Aditivos e Ingredientes, vol. 28, p. 81–82, 2003.
- UFHEIL, G., ESCHER, F. Dynamics of Oil Uptake During Deep-Fat Frying of Potato Slices, Lebensm. Wiss. Technol., vol. 29, p. 640–644, 1996.
- URLACHER, B., NOBLE ,O., Xanthan. In Thickening and Gelling Agents for Food, ed. by Imeson A. Chapman & Hall, London, pp. 284–312 (1997).
- VARELA, G. Nutritive aspects of olive oil in the frying process. In: CONGRESS ON THE BIOLOGICAL VALUE OF OLIVE OIL, La Canea, Grécia. Proceedings... La Canea: [s.n.], 1980. p. 385–402.
- VARELA, G. Current Facts About Frying of Food, in Frying of Foods: Principles, Changes, New Approaches. ed. G. Varela,. E. Bender, I.D. Morton, Ellis Horwood, Chichester, 1988, p. 9–25.
- VARELA, G. La fritura de los alimentos. Boletin Informativo da Sociedad Española de la Nutrición, vol. 1, p. 7–9, 1989.
- VELASCO, J., MARMESAT, S., DOBARGANES, M.C. Chemistry of Frying. In: SAHIN, S., SUMNU, S. G. Advances in deep fat frying foods. CRC Press Taylor & Francis Group, 2009, ISBN 978-1-4200-5558-0.

- VIANA, M. M.; SABIO, R. P. Quem come fora, come mais hortifruti. Hortifruti Brasil, p. 6–13, 2009.
- VIANA, A.G. Sistemas de empanamento. Aditivos e Ingredientes, vol. 38, p. 74–78, 2005.
- VITRAC, O. Caractérisation expérimentale et modélisation de l'opération de friture. Ecole Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaires, 2000. 262 p.
- VITRAC, O., DUFOUR, D., TRYSTRAM, G., RAOULT-WACK, A. L. Characterization of heat and mass transfer during deep-fat frying and its effect on cassava chip quality. Journal of Food Engineering, vol. 53, p. 161–76, 2002.
- YAMSAENGUNG, R., MOREIRA, R.G. Modeling the transport phenomena and structural changes during deep fat frying Part I: model development. Journal of Food Engineering, vol. 53, p. 1–10, 2002.
- XUE, J., NGADI, M., Thermal properties of batter systems formulated by combinations of different flours, LWT, vol. 40, p. 1459–1465, 2007 a.
- XUE, J., NGADI, M., Rheological properties of batter systems containing different combinations of flours and hydrocolloids. Journal of the Science of Food and Agriculture, vol. 87, p. 1292–1300, 2007 b.
- YILDIZ, A., PALAZOGLU, T.K., ERDOGDU, F. Determination of heat and mass transfer parameters during frying of potato slices. Journal of Food Engineering, vol. 79, p. 11–17, 2007.
- WILLIANS, R., MITTAL, G.S. Water and fat transfer properties of polysaccharide films on fried pastry mix. Lebensm.- Wiss. U.-Technology, vol.32, nº 7, p. 440–445, 1999.

APÊNDICE A

Determinação do tempo ótimo de secagem
em estufa para a padronização do teor de
umidade da farinha de milho tratada com a
solução de amido

Tabela A.1 – Dados de umidade no início do experimento (t=0 min)

Caso	Réplica 1				Umidade Inicial [%]
	Massa de Farinha [g]	Massa de Solução de Amido [g]	Massa Total [g]	Sólidos Totais [g]	
a)	10,0026	0,0000	10,0026	9,0620	9,4033
b)	10,0028	1,0063	11,0091	9,3291	15,2600
c)	10,0036	2,0021	12,0057	9,5939	20,0884
d)	10,0012	3,0071	13,0083	9,8583	24,2151
e)	10,0040	4,0053	14,0093	10,1256	27,7222
f)	10,0040	5,0030	15,0070	10,3902	30,7641
g)	10,0041	6,0039	16,0080	10,6558	33,4346
h)	10,0031	7,0024	17,0055	10,9197	35,7871
i)	10,0044	8,0046	18,0090	11,1867	37,8827
j)	10,0011	9,0029	19,0040	11,4485	39,7574
k)	10,0016	10,0047	20,0063	11,7147	41,4452
Réplica 2					
Caso	Massa de Farinha [g]	Massa de Solução de Amido [g]	Massa Total [g]	Sólidos Totais [g]	Umidade Inicial [%]
a)	10,0027	0,0000	10,0027	9,0621	9,4033
b)	10,0012	1,0370	11,0382	9,3358	15,4228
c)	10,0060	2,0028	12,0088	9,5963	20,0894
d)	10,0023	3,0015	13,0038	9,8578	24,1926
e)	10,0025	4,0067	14,0092	10,1246	27,7287
f)	10,0043	5,0092	15,0135	10,3922	30,7813
g)	10,0061	6,0028	16,0089	10,6573	33,4288
h)	10,0037	7,0025	17,0062	10,9203	35,7864
i)	10,0076	8,0074	18,0150	11,1904	37,8831
j)	10,0057	9,0016	19,0073	11,4523	39,7478
k)	10,0033	10,0045	20,0078	11,7161	41,4421
Réplica 3					
Caso	Massa de Farinha [g]	Massa de Solução de Amido [g]	Massa Total [g]	Sólidos Totais [g]	Umidade Inicial [%]
a)	10,0031	0,0000	10,0031	9,0625	9,4033
b)	10,0046	1,0022	11,0068	9,3296	15,2374
c)	10,0061	2,0014	12,0075	9,5960	20,0831
d)	10,0003	3,0036	13,0039	9,8566	24,2029
e)	10,0048	4,0015	14,0063	10,1253	27,7087
f)	10,0043	5,0031	15,0074	10,3905	30,7639
g)	10,0012	6,0037	16,0049	10,6531	33,4384
h)	10,0052	7,0019	17,0071	10,9215	35,7828
i)	10,0029	8,0038	18,0067	11,1851	37,8835
j)	10,0056	9,0041	19,0097	11,4529	39,7524
k)	10,0011	10,0026	20,0037	11,7136	41,4426

Tabela A.2 – Dados de umidade (t=5 min).

Caso	Réplica 1		Réplica 2		Réplica 3	
	Massa Total [g]	Umidade a 5 min [%]	Massa Total [g]	Umidade a 5 min [%]	Massa Total [g]	Umidade a 5 min [%]
a)	9,6286	5,8843	9,6021	5,6236	9,6193	5,7886
b)	10,3011	9,4358	10,2916	9,2872	10,3066	9,4789
c)	11,0493	13,1715	11,0486	13,1446	11,0541	13,1904
d)	11,5225	14,4428	11,5673	14,7784	11,5647	14,7701
e)	12,5632	19,4026	12,5650	19,4220	12,5063	19,0381
f)	13,7860	24,6320	13,8922	25,1943	13,8850	25,1672
g)	14,9548	28,7467	14,8225	28,1004	14,8134	28,0846
h)	15,7814	30,8064	15,6192	30,0840	15,6225	30,0913
i)	16,6989	33,0093	16,6648	32,8504	16,6533	32,8353
j)	17,3865	34,1529	17,4553	34,3906	17,4632	34,4170
k)	18,4849	36,6258	18,5925	36,9846	18,5813	36,9600

Tabela A.3 – Dados de umidade (t=10 min)

Caso	Réplica 1		Réplica 2		Réplica 3	
	Massa Total [g]	Umidade a 10 min [%]	Massa Total [g]	Umidade a 10 min [%]	Massa Total [g]	Umidade a 10 min [%]
a)	9,4758	4,3667	9,4408	4,0112	9,4458	4,0581
b)	10,0151	6,8496	9,9786	6,4418	9,9522	6,2554
c)	10,4945	8,5812	10,4944	8,5578	10,4985	8,5962
d)	10,9976	10,3593	11,0471	10,7654	11,0491	10,7929
e)	11,8595	14,6202	11,7966	14,1733	11,7809	14,0530
f)	12,9418	19,7157	13,0089	20,1151	12,9948	20,0408
g)	13,6518	21,9459	13,5822	21,5347	13,5778	21,5402
h)	14,3765	24,0447	14,2525	23,3798	14,2500	23,3580
i)	15,4354	27,5256	15,4052	27,3599	15,3925	27,3338
j)	16,3040	29,7810	16,3420	29,9209	16,3438	29,9252
k)	17,2919	32,2535	17,2305	32,0035	17,2221	31,9848

Tabela A.4 – Dados de umidade (t=15 min)

Caso	Réplica 1		Réplica 2		Réplica 3	
	Massa Total [g]	Umidade a 15 min [%]	Massa Total [g]	Umidade a 15 min [%]	Massa Total [g]	Umidade a 15 min [%]
a)	9,2307	1,8273	9,2365	1,8880	9,2287	1,8011
b)	9,6470	3,2953	9,6259	3,0138	9,6349	3,1682
c)	10,2073	6,0090	10,2092	6,0034	10,2222	6,1256
d)	10,8313	8,9830	10,8429	9,0849	10,8496	9,1526
e)	11,4218	11,3483	11,3998	11,1859	11,3902	11,1049
f)	12,2216	14,9847	12,2522	15,1813	12,2450	15,1447
g)	12,9683	17,8320	12,8988	17,3775	12,8983	17,4068
h)	13,7176	20,3963	13,7032	20,3085	13,7024	20,2951
i)	14,3693	22,1485	14,3916	22,2439	14,3724	22,1763
j)	15,2810	25,0802	15,3791	25,5332	15,3902	25,5832
k)	16,2412	27,8707	16,2638	27,9618	16,2485	27,9094

Tabela A.5 – Dados de umidade (t=20 min)

Caso	Réplica 1		Réplica 2		Réplica 3	
	Massa Total [g]	Umidade a 20 min [%]	Massa Total [g]	Umidade a 20 min [%]	Massa Total [g]	Umidade a 20 min [%]
a)	9,1911	1,4044	9,1825	1,3110	9,1792	1,2716
b)	9,5469	2,2813	9,5724	2,4717	9,5686	2,4972
c)	9,8978	3,0699	9,9028	3,0950	9,9093	3,1614
d)	10,4062	5,2649	10,3676	4,9169	10,3689	4,9409
e)	10,8301	6,5049	10,8197	6,4241	10,8167	6,3917
f)	11,3402	8,3770	11,3066	8,0877	11,2973	8,0264
g)	11,8899	10,3795	11,8788	10,2829	11,8794	10,3228
h)	12,5659	13,1004	12,5580	13,0412	12,5489	12,9686
i)	13,6370	17,9680	13,6830	18,2171	13,6733	18,1972
j)	14,5066	21,0808	14,5677	21,3855	14,5736	21,4134
k)	15,3677	23,7709	15,3736	23,7905	15,3635	23,7566

Tabela A.6 – Dados de umidade (t=25 min)

Caso	Réplica 1		Réplica 2		Réplica 3	
	Massa Total [g]	Umidade a 25 min [%]	Massa Total [g]	Umidade a 25 min [%]	Massa Total [g]	Umidade a 25 min [%]
a)	9,1618	1,0890	9,1643	1,1150	9,1558	1,0193
b)	9,5137	1,9403	9,5231	1,9668	9,5256	2,0571
c)	9,8104	2,2064	9,8060	2,1384	9,8072	2,1533
d)	10,1657	3,0236	10,1723	3,0914	10,1809	3,1855
e)	10,5906	4,3905	10,5881	4,3773	10,5812	4,3083
f)	11,0383	5,8711	10,9417	5,0225	10,9621	5,2140
g)	11,5491	7,7349	11,4929	7,2705	11,4936	7,3127
h)	12,0371	9,2828	12,0514	9,3857	12,0501	9,3660
i)	12,9322	13,4972	12,9439	13,5473	12,9349	13,5274
j)	13,8722	17,4716	13,9211	17,7341	13,9190	17,7176
k)	14,8518	21,1230	14,6952	20,2723	14,6791	20,2019

Tabela A.7 – Dados de umidade (t=30 min)

Caso	Réplica 1		Réplica 2		Réplica 3	
	Massa Total [g]	Umidade a 30 min [%]	Massa Total [g]	Umidade a 30 min [%]	Massa Total [g]	Umidade a 30 min [%]
a)	9,1419	0,8737	9,1315	0,7598	9,1263	0,6993
b)	9,4431	1,2072	9,4411	1,1153	9,4253	1,0148
c)	9,7504	1,6046	9,7430	1,5056	9,7472	1,5510
d)	10,0859	2,2563	10,0772	2,1768	10,0781	2,1980
e)	10,5106	3,6628	10,4919	3,5005	10,4809	3,3925
f)	10,8363	4,1164	10,8298	4,0412	10,8223	3,9896
g)	11,2788	5,5237	11,2871	5,5797	11,2851	5,6002
h)	11,8341	7,7267	11,8076	7,5147	11,8025	7,4646
i)	12,3311	9,2805	12,3425	9,3348	12,3331	9,3080
j)	13,3718	14,3833	13,2914	13,8366	13,2878	13,8090
k)	14,1073	16,9603	14,1185	17,0157	14,1367	17,1402

Tabela A.8 – Dados de umidade (t=35 min)

Caso	Réplica 1		Réplica 2		Réplica 3	
	Massa Total [g]	Umidade a 35 min [%]	Massa Total [g]	Umidade a 35 min [%]	Massa Total [g]	Umidade a 35 min [%]
a)	9,0992	0,4086	9,0928	0,3375	9,0892	0,2940
b)	9,4090	0,8491	9,3995	0,6777	9,3949	0,6945
c)	9,6950	1,0423	9,6903	0,9700	9,6991	1,0627
d)	10,0257	1,6694	10,0029	1,4502	10,0061	1,4943
e)	10,3808	2,4582	10,4044	2,6890	10,3898	2,5455
f)	10,7590	3,4275	10,7414	3,2514	10,7224	3,0951
g)	11,1491	4,4246	11,1285	4,2341	11,1294	4,2795
h)	11,5371	5,3513	11,5840	5,7296	11,5859	5,7347
i)	12,0522	7,1812	12,0491	7,1271	12,0357	7,0670
j)	12,6327	9,3741	12,6390	9,3890	12,6496	9,4604
k)	13,4769	13,0760	13,4702	13,0217	13,4606	12,9783

Tabela A.9 – Dados de umidade (t=40 min)

Caso	Réplica 1		Réplica 2		Réplica 3	
	Massa Total [g]	Umidade a 40 min [%]	Massa Total [g]	Umidade a 40 min [%]	Massa Total [g]	Umidade a 40 min [%]
a)	9,0818	0,2177	9,0773	0,1673	9,0826	0,2215
b)	9,3688	0,4237	9,3645	0,3065	9,3587	0,3104
c)	9,6699	0,7855	9,6668	0,7292	9,6667	0,7311
d)	9,9757	1,1766	9,9490	0,9163	9,9517	0,9558
e)	10,3306	1,9842	10,3238	1,9293	10,3186	1,8730
f)	10,6583	2,5151	10,6556	2,4724	10,6434	2,3758
g)	11,0791	3,8208	11,0953	3,9475	11,0970	4,0001
h)	11,4371	4,5237	11,4619	4,7253	11,4604	4,7024
i)	11,8322	5,4554	11,8847	5,8424	11,8765	5,8213
j)	12,3722	7,4659	12,3192	7,0368	12,3197	7,0359
k)	12,9281	9,3861	12,9334	9,4117	12,9209	9,3434

APÊNDICE B

Determinação do Teor de Gordura Absorvida durante a Fritura

Tabela B.1 – Teor de gordura absorvida no processo de fritura, obtida pelo Método de Sox, sem a adição de solução de amido.

Massa de Farinha [g]	Massa de Solução de amido [g]	Massa da amostra de farinha frita [g]	Massa de gordura na amostra [g]	Teor de Gordura [%]
10,0052	0,0000	5,0032	2,6640	53,2459
10,0046	0,0000	5,0015	2,6696	53,3760
10,0005	0,0000	5,0031	2,6644	53,2550
10,0084	0,0000	5,0015	2,6634	53,2520
10,0033	0,0000	5,0007	2,6589	53,1706
10,6900	0,0000	5,0074	2,6693	53,3071
Média			2,6649	53,2535 $\pm 0,0687$

Tabela B.2 – Teor de gordura absorvida no processo de fritura, obtida pelo Método de Sox, com a adição de 1 g de solução de amido.

Massa de Farinha [g]	Massa de Solução de amido [g]	Massa da amostra de farinha frita [g]	Massa de gordura na amostra [g]	Teor de Gordura [%]
10,0070	1,0093	5,0078	2,4585	49,0934
10,0051	1,0087	5,0075	2,4475	48,8767
10,0073	1,0067	5,0062	2,4429	48,7975
10,0047	1,0011	5,0075	2,4483	48,8927
10,0085	1,0095	5,0087	2,4562	49,0387
10,0062	1,0061	5,0026	2,4442	48,8586
Média			2,4496	48,8847 $\pm 0,1143$

Tabela B.3 – Teor de gordura absorvida no processo de fritura, obtida pelo Método de Sox, com a adição de 2 g de solução de amido.

Massa de Farinha [g]	Massa de Solução de amido [g]	Massa da amostra de farinha frita [g]	Massa de gordura na amostra [g]	Teor de Gordura [%]
10,0029	2,0005	5,0029	2,4042	48,0561
10,0039	2,0031	5,0032	2,4123	48,2151
10,0092	2,0041	5,0057	2,4089	48,1231
10,0018	2,0030	5,0036	2,4093	48,1513
10,0044	2,0081	5,0008	2,4039	48,0703
10,0034	2,0028	5,0012	2,4115	48,2184
Média			2,4084	48,1372 $\pm 0,0694$

Tabela B.4 – Teor de gordura absorvida no processo de fritura, obtida pelo Método de Sox, com a adição de 3 g de solução de amido.

Massa de Farinha [g]	Massa de Solução de amido [g]	Massa da amostra de farinha frita [g]	Massa de gordura na amostra [g]	Teor de Gordura [%]
10,0072	3,0006	5,0075	2,1045	42,0270
10,0033	3,0072	5,0070	2,1015	41,9712
10,0054	3,0096	5,0092	2,0889	41,7013
10,0004	3,0061	5,0045	2,0921	41,8044
10,0040	3,0074	5,0052	2,0932	41,8205
10,0034	3,0082	5,0063	2,0904	41,7554
Média			2,0951	41,8124 $\pm 0,1265$

Tabela B.5 – Teor de gordura absorvida no processo de fritura, obtida pelo Método de Sox, com a adição de 4 g de solução de amido.

Massa de Farinha [g]	Massa de Solução de amido [g]	Massa da amostra de farinha frita [g]	Massa de gordura na amostra [g]	Teor de Gordura [%]
10,0029	4,0085	5,0053	2,1106	42,1673
10,0039	4,0071	5,0049	2,1003	41,9649
10,0092	4,0068	5,0040	2,1025	42,0164
10,0057	4,0027	5,0041	2,1061	42,0875
10,0027	4,0002	5,0077	2,1063	42,0612
10,0068	4,0062	5,0067	2,0955	41,8539
Média			2,1036	42,0388 $\pm 0,1081$

Tabela B.6 – Teor de gordura absorvida no processo de fritura, obtida pelo Método de Sox, com a adição de 5 g de solução de amido.

Massa de Farinha [g]	Massa de Solução de amido [g]	Massa da amostra de farinha frita [g]	Massa de gordura na amostra [g]	Teor de Gordura [%]
10,0061	5,0034	5,0080	2,1055	42,0427
10,0075	5,0041	5,0069	2,0989	41,9202
10,0041	5,0040	5,0084	2,1004	41,9375
10,0059	5,0082	5,0080	2,1041	42,0148
10,0045	5,0030	5,0053	2,1054	42,0634
10,0054	5,0079	5,0026	2,1057	42,0921
Média			2,1033	42,0288 $\pm 0,0693$

Tabela B.7 – Teor de gordura absorvida no processo de fritura, obtida pelo Método de Sox, com a adição de 6 g de solução de amido.

Massa de Farinha [g]	Massa de Solução de amido [g]	Massa da amostra de farinha frita [g]	Massa de gordura na amostra [g]	Teor de Gordura [%]
10,0051	6,0065	5,0080	2,1055	42,0427
10,0064	6,0019	5,0069	2,1049	42,0400
10,0039	6,0036	5,0084	2,1004	41,9375
10,0018	6,0089	5,0079	2,1103	42,1394
10,0067	6,0019	5,0053	2,1107	42,1693
10,0061	6,0096	5,0006	2,0906	41,8070
Média			2,1037	42,0414 $\pm 0,1339$

Tabela B.8 – Teor de gordura absorvida no processo de fritura, obtida pelo Método de Sox, com a adição de 7 g de solução de amido.

Massa de Farinha [g]	Massa de Solução de amido [g]	Massa da amostra de farinha frita [g]	Massa de gordura na amostra [g]	Teor de Gordura [%]
10,0065	7,0004	5,0023	2,1006	41,9927
10,0085	7,0082	5,0079	2,1050	42,0336
10,0040	7,0006	5,0011	2,0976	41,9428
10,0065	7,0033	5,0031	2,0978	41,9300
10,0094	7,0020	5,0061	2,1072	42,0926
10,0074	7,0073	5,0068	2,1080	42,1027
Média			2,1027	42,0131 $\pm 0,0735$

Tabela B.9 – Teor de gordura absorvida no processo de fritura, obtida pelo Método de Sox, com a adição de 8 g de solução de amido.

Massa de Farinha [g]	Massa de Solução de amido [g]	Massa da amostra de farinha frita [g]	Massa de gordura na amostra [g]	Teor de Gordura [%]
10,0059	8,0030	5,0046	2,1040	42,0413
10,0016	8,0086	5,0070	2,1049	42,0391
10,0094	8,0013	5,0021	2,1060	42,1023
10,0033	8,0014	5,0078	2,0996	41,9266
10,0054	8,0053	5,0058	2,1020	41,9913
10,0083	8,0009	5,0034	2,1053	42,0774
Média			2,1036	42,0402 $\pm 0,0631$

Tabela B.10 – Teor de gordura absorvida no processo de fritura, obtida pelo Método de Sox, com a adição de 9 g de solução de amido.

Massa de Farinha [g]	Massa de Solução de amido [g]	Massa da amostra de farinha frita [g]	Massa de gordura na amostra [g]	Teor de Gordura [%]
10,0033	9,0039	5,0003	2,1013	42,0235
10,0057	9,0005	5,0013	2,1041	42,0711
10,0048	9,0085	5,0010	2,0958	41,9076
10,0032	9,0067	5,0032	2,0987	41,9472
10,0075	9,0018	5,0096	2,1064	42,0473
10,0051	9,0066	5,0070	2,1092	42,1250
Média			2,1026	42,0354 ±0,0804

Tabela B.11 – Teor de gordura absorvida no processo de fritura, obtida pelo Método de Sox, sem a adição de 10 g de solução de amido.

Massa de Farinha [g]	Massa de Solução de amido [g]	Massa da amostra de farinha frita [g]	Massa de gordura na amostra [g]	Teor de Gordura [%]
10,0055	10,0086	5,0078	2,1033	42,0005
10,0086	10,0058	5,0040	2,1089	42,1443
10,0075	10,0009	5,0030	2,1082	42,1387
10,0055	10,0004	5,0068	2,1067	42,0768
10,0028	10,0012	5,0059	2,1032	42,0144
10,0036	10,0036	5,0035	2,0989	41,9486
Média			2,1049	42,0456 ±0,0792