

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE ALIMENTOS

Marina Migliavacca

**Microencapsulação de gordura de coco com soro de leite para
aplicação em ração de suínos**

Passo Fundo

2019

Marina Migliavacca
Engenheira de Alimentos

**Microencapsulação de gordura de coco com soro de leite para
utilização em ração de suínos**

Dissertação de Mestrado apresentada para
obtenção do título de Mestre em Ciência e
Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Vandré Barbosa Brião

Linha de pesquisa: Processos biotecnológicos e
não convencionais na produção de alimentos e
ingredientes.

Passo Fundo

2019

CIP – Catalogação na Publicação

M634m Migliavacca, Marina
Microencapsulação de gordura de coco com soro de
leite para aplicação em ração de suínos / Marina
Migliavacca. – 2019.
109 p.: il. color.: 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Vandr e Barbosa Brião.
Disserta o (Mestrado em Ciência e Tecnologia de
Alimentos) – Universidade de Passo Fundo, 2019.

1. Encapsula o. 2. Gordura de coco. 3. Soro de leite. 4.
Ra es. I. Brião, Vandr e Barbosa, orientador. II. Título.

CDU: 664

Cataloga o: Bibliotecária Marci li de Oliveira - CRB 10/2113

**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS**

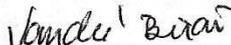
A comissão examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação de Mestrado

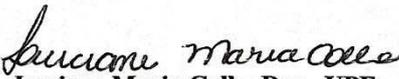
Microencapsulação de gordura de coco com soro de leite para aplicação em ração
de suínos

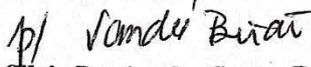
Elaborada por
Marina Migliavacca

Como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestra em Ciência e Tecnologia de Alimentos

Comissão Examinadora


Vandrê Barbosa Brião, Dr., UPF
(Orientador/Presidente)


Luciane Maria Colla, Dra., UPF


Neila Silvia Pereira dos Santos Richards, Dra., UFSM

**Passo Fundo, RS, Brasil
2019**

Aos meus pais, Lourdes e Renato, minha irmã

Regina, meu namorado Tobías por todo amor, incentivo, compreensão e paciência.

A minha família e amigos, que de uma forma ou outra, fizeram parte desta etapa da minha vida.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me iluminar nessa escolha e permitir concluir essa etapa na minha vida. Agradeço por me presentear com as amizades construídas ao longo desse tempo e por mostrar que tudo é possível quando há amor e esforço.

Agradeço a minha família, meu namorado Tobías, a minha irmã Regina, ao Luiz Eduardo, meus amigos, pelo amor, confiança, caronas, incentivo; por estarem presentes em todos os momentos, ao meu lado sempre, independente das minhas inquietações e desafios.

Agradeço ao meu orientador professor Dr. Vandr e Barbosa Brião pela oportunidade, confiança, pela paciência, disponibilidade, orienta o científica e por mostrar o caminho “dos degraus” durante esses anos.

Agradeço a Ana Cláudia Margarites, Tatiana Oro, Bárbara Biduski, Adriane Barlette, assim como as professoras Charise Bertol e Maria Tereza Friedrich pela ajuda, pelos ensinamentos, disponibilidade e por serem excelentes profissionais e humanas, mesmo não fazendo parte deste programa de p s gradua o.

Agradeço aos colaboradores dos Laboratórios de Bioquímica e Bioprocessos, Cereais, Laboratórios do Parque Científico e Tecnológico da UPF (módulo II), CEPA e Laboratório de Aulas Práticas pelo apoio, disponibilidade e ajuda nas análises e realiza o dos experimentos.

Agradeço a amizade que construímos, no Laboratório de Bioquímica e Bioprocessos, pela convivência, carinho, compreensão, conversas, troca mútua de conhecimento, que sempre estiveram presentes em todos os momentos, bons e ruins, tornando os dias mais alegres e os tombos menos doloridos.

Agradeço aos meus colegas da turma do mestrado por dividir momentos de alegrias e de dificuldades, pela união, apoio, pela vivência tão intensa que construímos e pelo aprendizado como ser humano.

Agradeço a empresa RELAT, Laticínios Renner SA pelo vínculo com a Universidade, pelo fornecimento da matéria prima e por estar sempre de portas abertas. Em especial ao Sr. Adelar e Sr. Claudio pela disponibilidade, preocupa o, apoio e confiança. A Marieli, colaboradora da empresa e também aluna do PPGCTA, pela ajuda que facilitou a realiza o deste trabalho.

Agradeço a Universidade de Passo Fundo, em especial, o Programa de Pós Gradua o em Ciência e Tecnologia de Alimentos, coordenadora, às secret rias Danieli e Patrícia, ao curso

de Engenharia de Alimentos, professores, alunos, colaboradores, pelo carinho, apoio e por todo o suporte fornecido para a realização deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos que convivi durante esses anos e que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho. Todos estão guardados em meu coração e na minha memória.

Eternamente grata a vocês!

*“A vida só é possível através dos desafios.
A vida só é possível quando você tem tanto o
bom tempo quanto o mau tempo,
quando tem prazer e dor;
quando tem inverno e verão, dia e noite;
quando tem tristeza tanto quanto felicidade,
desconforto tanto quanto conforto.
A vida passa entre essas duas polaridades.
Entre os que criticam por não saber e
os que auxiliam por compreender.
Movendo-se entre essas duas polaridades,
você aprende a se equilibrar.
Entre essas duas asas, você aprende a voar até
a estrela mais brilhante.”*

Osho.

RESUMO

O aumento da demanda por produtos de maior valor agregado é afetado por tendências do mercado global. A implantação de novas tecnologias como alternativa para a utilização dos subprodutos gerados, que podem apresentar problemas ao meio ambiente, é de importância econômica, tecnológica e ambiental para as indústrias. Considerando o grande volume de soro de leite, derivado da produção de queijo, que possui elevado valor nutricional e a poluição ambiental associada ao seu destino inadequado, as indústrias buscam alternativas viáveis para a sua utilização. Assim como o soro de leite, óleos e gorduras são ingredientes importantes devido às suas propriedades nutricionais, como fonte energética, e incorporação em uma variedade de produtos alimentares, tanto na alimentação humana quanto animal. A gordura de coco é utilizada na alimentação suína como excelente fonte energética, principalmente no período pós desmame, considerado crítico em termos de nutrição, devido a susceptibilidade à oxidação, a gordura de coco deve ser protegida para evitar as transformações que afetam negativamente suas propriedades nutricionais e sensoriais. A utilização de tecnologias como a microencapsulação seguida de secagem por *Spray dryer* proporciona às indústrias alimentícias ferramentas para o desenvolvimento de produtos com características sensoriais apropriadas, sem perdas dos compostos aromáticos e evita a instabilidade química criada pelo ar, luz, altas temperaturas e umidade, sendo estes os fatores responsáveis pela degradação e evaporação de ingredientes lábeis. Desta forma, o objetivo do trabalho foi desenvolver um processo para microencapsular a gordura de coco por secagem em *Spray dryer*, sendo utilizado como principal material de parede o soro de leite, com adição de maltodextrina e goma arábica. A gordura de coco apresentou elevado teor de ácidos graxos saturados. A homogeneização da gordura de coco com os agentes encapsulantes - a uma pressão de 200 bar, proporcionou a quebra dos cristais de lactose e dos glóbulos de gordura, resultando em uma amostra sem separação de fases. A melhor proporção de agente ativo: encapsulante foi de 1:3 m/m, a secagem apresentou baixo teor de umidade (< 4%) e perda mínima de produto no processo. As micropartículas apresentaram elevado teor de lactose (75,84%), tamanho de partícula inferior a 200 µm, solubilidade em água de 49% e eficiência de encapsulação de 67%, com a adição da maltodextrina, goma arábica e gordura concentrada em pó, sendo estes resultados satisfatórios pois o produto final será adicionado a ração animal em base seca e o mesmo será armazenado protegido do ambiente externo. O produto desenvolvido assemelha-se com o produto comercial *whey fat*, os agentes encapsulantes foram capazes de proteger a gordura de coco, apresentando estabilidade térmica elevada (> 140 °C) obtendo-se um produto final protegido, seguro e de qualidade.

Palavras chave: Gordura de coco. Encapsulação. *Spray dryer*.

ABSTRACT

The increased demand for higher value-added products is affected by global market trends. The implantation of new technologies as an alternative to the use of the generated by-products, which can present problems to the environment, is of economic, technological and environmental importance for the industries. Considering the large volume of whey derived from cheese production, which has high nutritional value and the environmental pollution associated with its inadequate destination, industries are looking for viable alternatives for their use. As well as whey, oils and fats are important ingredients due to their nutritional properties, as an energy source, and incorporation into a variety of food products, both in human and animal food. Coconut fat is used in pig feed as an excellent source of energy, especially in the post-weaning period, considered critical in terms of nutrition. Due to susceptibility to oxidation, coconut fat should be protected to avoid transformations that negatively affect its nutritional and sensory properties. The use of technologies such as microencapsulation followed by *Spray dryer* drying gives the food industry tools for the development of products with appropriate sensorial characteristics, without loss of aromatic compounds and avoids the chemical instability created by air, light, high temperatures and humidity. These are the factors responsible for the degradation and evaporation of labile ingredients. In this way, the objective of the work was to develop a process to microencapsulate the coconut fat by drying in *Spray dryer*, being used as the main wall material the whey, with addition of maltodextrin and gum arabic. Coconut fat had a high content of saturated fatty acids. Homogenization of the coconut fat with the encapsulating agents at a pressure of 200 bar provided the breaking of the lactose crystals and the fat globules, resulting in a homogenous sample. The best proportion of active agent:encapsulant was 1: 3 m / m, drying had low moisture content (<4%), minimal loss of product in the process. The microparticles presented high lactose content (75.84%), particle size less than 200 µm, water solubility of 49% and encapsulation efficiency of 67%, with the addition of maltodextrin, gum arabic and concentrated fat in powder, and these results are satisfactory because the final product will be added to animal feed on a dry basis and it will be stored protected from the external environment. The developed product resembles the commercial whey fat product, the encapsulating agents were able to protect the coconut fat, presenting high thermal stability (> 140 ° C) resulting in a safe, quality and final protected product.

Key words: Coconut fat. Encapsulation. *Spray dryer*.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Tipos de cápsulas.....	32
Figura 2 - Esquema representativo do processo de secagem por <i>Spray dryer</i>	36
Figura 3 - Fluxograma das etapas de execução do trabalho.....	39
Figura 4 - Microscopia óptica (a) soro de leite a temperatura ambiente, aumento de 100 vezes; (b) soro de leite homogeneizado, aumento de 100 vezes.....	51
Figura 5 - Análise morfológica em microscópio eletrônico de varredura (MEV).....	55
Figura 6 - Análise FTIR das micropartículas, agente ativo e agentes encapsulantes.....	62

QUADROS

Quadro 1 - Diferentes técnicas de microencapsulação.....	33
Quadro 2 - Delineamento experimental utilizado para o desenvolvimento de microcápsulas através da técnica de secagem por <i>Spray dryer</i>	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição de ácidos graxos do óleo de coco.....	27
Tabela 2 - Composição média do soro lácteo bovino.....	29
Tabela 3 - Parâmetros testados para homogeneização da amostra.....	42
Tabela 4 - Composição e quantificação dos ácidos graxos presentes na gordura de coco.....	49
Tabela 5 - Composição físico-química das amostras, valores expressos em %.....	53
Tabela 6 - Distribuição do tamanho das micropartículas.....	57
Tabela 7 - Solubilidade em água e Eficiência de encapsulação das micropartículas com diferentes agentes encapsulantes.....	58
Tabela 8 - Solubilidade em meio ácido das microcápsulas escolhidas a partir dos testes de encapsulação.....	60
Tabela 9 - Atividade de água das micropartículas à 25 °C.....	61
Tabela 10 - Calorimetria exploratória diferencial e termogravimetria da amostra padrão, agente ativo e micropartículas.....	65

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
2.1	FONTES DE ENERGIA NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL.....	25
2.2	GORDURA DE COCO	26
2.3	SORO DE LEITE	29
2.4	MICROENCAPSULAÇÃO	31
2.4.1	Materiais encapsulantes.....	33
2.4.2	Agente ativo	34
2.4.3	Secagem por <i>Spray dryer</i>	35
2.4.4	Microencapsulação de óleos seguida de secagem por <i>Spray dryer</i>	37
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	39
3.1	MATÉRIAS-PRIMAS.....	39
3.2	CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA E ELABORAÇÃO DAS MICROPARTÍCULAS	40
3.3	SECAGEM POR <i>SPRAY DRYER</i>	42
3.4	CARACTERIZAÇÃO DAS MICROPARTÍCULAS	43
3.4.1	Caracterização físico-química	43
3.4.2	Caracterização Morfológica	43
3.4.3	Tamanho de partícula e dispersão granulométrica	43
3.4.4	Determinação da eficiência de encapsulação (EE%)	44
3.4.5	Solubilidade em água	44
3.4.6	Solubilidade em meio ácido	45
3.5	ESTABILIDADE DAS MICROPARTÍCULAS.....	45
3.5.1	Determinação da atividade de água.....	45
3.5.2	Avaliação por espectroscopia na região do infravermelho	45
3.5.3	Calorimetria exploratória diferencial e Termogravimetria	46
3.5.4	Tratamento dos dados.....	47
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA.....	49
4.2	ELABORAÇÃO DAS MICROPARTÍCULAS	50
4.2.1	Secagem por <i>Spray dryer</i>	51
4.3	CARACTERIZAÇÃO DAS MICROPARTÍCULAS	53
4.3.1	Caracterização físico-química	53

4.3.2	Caracterização Morfológica.....	55
4.3.3	Tamanho de partícula e dispersão granulométrica	56
4.3.4	Solubilidade em água e Eficiência de Encapsulação (EE%).....	58
4.3.5	Solubilidade em meio ácido.....	59
4.4	ESTABILIDADE DAS MICROPARTÍCULAS	61
4.4.1	Atividade de água	61
4.4.2	Avaliação por espectroscopia na região do infravermelho.....	62
4.4.3	Calorimetria exploratória diferencial e Termogravimetria.....	64
5	CONCLUSÕES	67
	REFERÊNCIAS	69
	APÊNDICE A – ARTIGO CIENTÍFICO.....	83
	APÊNDICE B – SECAGEM POR SPRAY DRYER, TAMANHO DE PARTÍCULA E PRODUTO FINAL	103
	APÊNDICE C - GRÁFICOS DAS ANÁLISES CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL E TERMOGRAVIMETRIA	107

1 INTRODUÇÃO

A indústria de alimentos possui o desafio de atender às necessidades dos consumidores, desenvolver novos produtos e buscar alternativas para a utilização de subprodutos gerados, que podem apresentar problemas ao meio ambiente. Considerando o grande volume de soro de leite produzido, que é obtido a partir da coagulação do leite destinado à fabricação de queijos (GANJU; GOGATE, 2017) e seu elevado valor nutricional, as indústrias vem buscando alternativas viáveis para a sua utilização. Este subproduto tem contribuído para enriquecer e desenvolver novos produtos alimentícios ou agregar valor aos já existentes, tanto na alimentação humana quanto animal (GARRIDO et al., 2016).

Os produtos lácteos fornecem nutrição sob a forma de energia (carboidratos presentes como lactose), nitrogênio (das proteínas) e também atuam como fonte de cálcio (ALMEIDA et al., 2015; SOUZA et al., 2010). As proteínas presentes no soro de leite são consideradas surfactantes naturais (ÇAKIR- FULLER, 2015), possuem propriedades antioxidantes (MATALANIS et al., 2012) e são materiais de parede promissores para a microencapsulação de compostos sensíveis (PREMI; SHARMA, 2017). Os agentes encapsulantes mais utilizados para encapsulação de óleos são a maltodextrina (MD), a goma arábica (GA) e os concentrados de proteína de soro de leite (WPC) (SAFFARI; LANGRISH, 2014; AGHBASHLO et al., 2013).

Os óleos e gorduras são ingredientes importantes devido às suas propriedades nutricionais e por isso são incorporados em uma variedade de produtos alimentares, tanto na alimentação humana quanto animal (KINSELLA et al., 2017). Os lipídios possuem a função de fornecer energia, melhorar a palatabilidade, a conversão alimentar, a absorção das vitaminas lipossolúveis e propiciar uma melhoria na consistência das rações animais (PUVACA et al., 2013). A gordura de coco é utilizada na alimentação animal como excelente fonte de energia, principalmente no período pós desmame em suínos, considerado crítico em termos nutricionais (HAN et al., 2011). Além disso, é rica em ácidos graxos de cadeia média e exibe boa digestibilidade (CHE MAN; MARINA, 2009; SHAHABUDIN et al., 2015), características desejáveis nesse período da vida do animal. Entretanto, a oxidação lipídica é uma das principais causas de perda de qualidade nos alimentos, afetando negativamente suas propriedades nutricionais e sensoriais (FENG et al., 2015). A microencapsulação de óleos e gorduras permite evitar a instabilidade química criada pelo ar, luz, altas temperaturas e umidade, sendo estes os

fatores responsáveis pela rápida degradação e evaporação dos princípios ativos (DRIDI et al., 2016).

O processo de microencapsulação consiste no aprisionamento de células, enzimas ou ingredientes alimentares (GIBBS et al., 1999) por substâncias que atuam como revestimento (BAKOWSKA-BARCZAK; KOLODZIEJCZYK, 2011). O revestimento é uma barreira entre o núcleo da cápsula e as condições adversas do ambiente (SÁNCHEZ et al., 2016) como a umidade, luz, oxigênio, pH (FANG; BHANDARI, 2010; KHORASANI et al., 2017), além de poder liberar este núcleo em locais específicos (MENEZES et al., 2013; DE BARROS FERNANDES et al., 2016).

A secagem por *Spray dryer* é o processo mais utilizado na indústria de alimentos, por ser de simples operação e boa relação custo benefício (CALISKAN; DIRIM, 2013). Possui fácil disponibilidade de equipamentos podendo ser utilizada para obter produtos com propriedades específicas (PREMI; SHARMA, 2017). O processo de microencapsulação seguido de secagem por *Spray dryer* torna-se importante, por proporcionar benefícios à ingredientes sensíveis, destacando-se a proteção, qualidade e segurança.

O objetivo do trabalho foi desenvolver um processo para obtenção do “*whey fat*” com a proteção da gordura de coco por meio da formação de micropartículas, utilizando o soro de leite como principal agente encapsulante. Os objetivos específicos foram: a) definir parâmetros para a homogeneização da microdispersão do agente ativo e encapsulante; b) determinar formulações e razões de agente encapsulante e gordura de coco para a microencapsulação em *Spray dryer*; c) caracterizar as micropartículas produzidas e sua integridade; d) avaliar a estabilidade e o potencial de liberação do agente ativo microencapsulado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 FONTES DE ENERGIA NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL

A preocupação em melhorar a produtividade e reduzir os custos com alimentação tem levado profissionais da área a constantes pesquisas, com o intuito de aprimorar o conhecimento sobre as características dos alimentos e suas limitações para que possam ser utilizados adequadamente nas formulações de rações para suínos (SANTOS et al., 2003).

Os óleos e gorduras comestíveis são uma parte vital da dieta, não só por seus atributos sensoriais, mas também por fornecer ácidos graxos e energia ao organismo. Eles servem como transportadores de vitaminas e precursores de síntese de hormônios (LI et al., 2016). Em termos de energia bruta, óleos e gorduras possuem um alto valor energético quando comparados a outros alimentos ricos em carboidratos ou proteínas. O aumento na absorção dos ácidos graxos saturados em misturas de gorduras é devido a um efeito sinérgico, uma vez que os valores obtidos de energia metabolizável da mistura são maiores que a média dos valores individuais de cada componente (GAIOTTO, 2000).

As gorduras vegetais são fonte importante de ácidos graxos de cadeia média, fornecem energia e possuem atividade antimicrobiana, com uma ação similar à de outros biopreservadores (OGBOLU et al., 2007). Os ácidos graxos de cadeia média compreendem os ácidos saturados com 8 a 12 carbonos em sua cadeia (MARTEN et al., 2006), eles possuem diferentes propriedades químicas e fisiológicas quando comparados com os ácidos graxos de cadeia longa, são moléculas menores e com menores pontos de fusão, entre 3 e 31°C (MARTEN et al., 2006).

A qualidade intrínseca das gorduras é dada tanto pela sua composição de ácidos graxos bem como pelo grau de saturação, diretamente relacionados com a digestibilidade da energia contida. Os ácidos graxos de cadeia média, presentes na gordura de coco, são mais rapidamente digeridos e absorvidos no lúmen intestinal, quando comparados aos lipídios do óleo de soja, constituídos por ácidos graxos de cadeia longa (MASCARENHAS et al., 2010).

Durante a lactação, óleos e gorduras são adicionados às dietas dos suínos (leitoas) com o intuito de aumentar a densidade energética das rações (BRUSTOLINI et al., 2004) e melhorar a palatabilidade das mesmas. Mais recentemente, essas substâncias têm sido empregadas como uma tentativa de influenciar a capacidade de absorção de lipídios em leitões recém nascidos via manipulação da dieta da matriz (LAURIDSEN et al., 2007a). Outro ponto relevante relaciona-

se ao fato de que os suínos tendem a alterar seu consumo de ração, de maneira a ajustá-lo aos níveis de energia de acordo com o seu crescimento (REZENDE et al. 2006).

O período pós desmame é uma fase crítica em que os suínos sofrem com fatores de estresse ambiental, social e nutricional, tendo efeitos diretos e indiretos na saúde geral do animal (VENTE-SPREEUWENBERG et al., 2003). Nessa fase, os sistemas imunológico e digestivo são ainda imaturos (NOFRARIAS et al., 2006) e é caracterizada por menor consumo de ração que, em conjunto, predispõe o leitão a distúrbios gastrointestinais (BRUININX et al., 2002).

A alimentação muda de forma brusca, passando do estado líquido (leite materno) para o sólido (ração). A capacidade de digestão do intestino delgado ainda é limitada, ocorrendo redução acentuada na ingestão de alimentos nos primeiros dias. Esta redução provoca uma diminuição da massa do intestino, com redução das vilosidades intestinais, que contribui para um aumento na taxa de mortalidade (LUCHTENBERG, 2014). Os leitões passam períodos de até 48 horas sem se alimentar e 12 horas sem ingerir água, agravando ainda mais essa etapa (KHAFIPOUR et al., 2014).

As quantidades de enzimas secretadas pelo sistema digestório e de ácido clorídrico pelas células parietais do estômago são limitadas neste período (GEARY et al., 1999), o que promove digestão incompleta de carboidratos e proteínas, alterando a osmolaridade do conteúdo intestinal e propiciando condições favoráveis para o desenvolvimento de bactérias patogênicas, predispondo à ocorrência de diarreias, sendo necessário incluir fontes de energia mais digestíveis na dieta de leitões desmamados (BERTOL et al., 2000). As dietas devem ser compostas por gorduras, derivados lácteos, cereais processados ou açúcares simples, atendendo as necessidades energéticas até que estejam plenamente capacitados em utilizar o amido dos alimentos de origem vegetal (HAUPTLI, et al., 2005).

Em relação ao sistema imunológico os leitões pós desmame são extremamente deficientes em imunidade e dependem amplamente do leite da matriz para proteção, crescimento e sobrevivência (STOKES et al., 2001). Desse modo, o gerenciamento de dietas adequadas, principalmente durante esse período, induzindo o suíno ao consumo de ração, é uma tarefa desafiadora na produção.

2.2 GORDURA DE COCO

A gordura e/ou óleo de coco (virgem) é obtida a partir da polpa do fruto é uma fonte de lipídios efetiva em relação a outras fontes energéticas devido à alta proporção de ácidos graxos saturados de cadeia média (> 80%) em sua composição (REDA; CARNEIRO, 2007), exibindo

maior resistência às reações oxidativas (YOUSEFI et al., 2013). As espécies de coco brasileiros utilizadas para a extração dos óleos é o Palmiste (*Elaeis guineenses*) e o Babaçu (*Orbignya phalerata*). O óleo de coco babaçu é o mais utilizado, considerado “o tesouro do Maranhão” (BARBOSA, 2018), possui características sensoriais importantes, como aroma e um sabor levemente amêndoado. Os ácidos graxos de cadeia média que destacam-se no óleo de coco babaçu (Tabela 1), são o ácido láurico e mirístico (SILVA et al., 2012).

Tabela 1- Composição de ácidos graxos do óleo de coco babaçu.

Nomenclatura	Ácidos graxos (%)	Tempo de retenção (min)
Capróico C ₆	3,3	7,088
Caprílico C ₈	9,2	7,986
Cáprico C ₁₀	9,6	9,322
Láurico C ₁₂	54,7	11,256
Mirístico C ₁₄	11,8	13,632
Palmítico C ₁₆	4,8	16,207
Linoléico C _{18:2}	0,9	18,779
Oléico C _{18:1}	6,5	19,547
Esteárico C _{18:0}	2,05	20,678

Fonte: SILVA et al., (2012).

As gorduras láuricas, são resistentes a oxidação não enzimática e ao contrário de outros óleos e gorduras apresentam temperatura de fusão baixa e definida (24 – 35 °C) (CHEN; ELEVITCH, 2006), são utilizadas principalmente na indústria cosmética e alimentícia onde em virtude de suas propriedades físicas e resistência à oxidação são empregadas no preparo de gorduras especiais para confeitaria, sorvetes, margarinas e substitutos de manteiga de cacau (MACHADO et al., 2006; LAWSON, 1999).

O nível de saturação determina a consistência da gordura em temperatura ambiente. A gordura de coco passa a ser óleo com uma baixa elevação na temperatura, em comparação com outros lipídios, devido à predominância de ácidos graxos de cadeia média em sua composição (DEBMANDAL et al., 2011). Apesar de estar presentes em uma quantidade baixa, os ácidos graxos insaturados podem sofrer a oxidação lipídica, que afeta diretamente as características da gordura, principalmente as propriedades sensoriais.

No Brasil, a gordura de coco tem sido usada quase que, exclusivamente, na fabricação de produtos de higiene e limpeza. No entanto, há um interesse em desenvolver mercados e novas alternativas para uso na fabricação de produtos alimentares. Comercialmente, a gordura

de coco é uma fonte de lipídios de valor alto, porém seus benefícios compensam o elevado custo. Ela melhora a absorção dos nutrientes, o que faz aumentar as defesas do organismo, melhora a palatabilidade, a conversão alimentar, a absorção das vitaminas lipossolúveis e propicia uma melhoria na consistência das rações (REZENDE et al. 2006).

Os ácidos graxos de cadeia curta e média fornecem energia, exibem boa digestibilidade (CHE MAN; MARINA, 2009) e têm sido estudados por suas propriedades antimicrobianas (LI et al., 2012). A introdução de antimicrobianos no uso terapêutico foi revolucionária no combate às doenças causadas por bactérias em animais (SEMJÉN, 2000). Boyen et al., (2008), analisaram a utilização de ácidos graxos de cadeia curta e média na alteração das propriedades de virulência da *Salmonella typhimurium* e a diminuição da colonização intestinal em suínos.

Os óleos e gorduras são partes integrantes de uma ordem de compostos denominados lipídios, do qual os triacilgliceróis são comumente encontrados em alimentos. Estão sujeitos a diversas alterações químicas durante o período que compreende processamento, armazenamento e consumo (ARAÚJO, 2011). Apesar de ser considerada estável (YOUSEFI et al., 2013), devido a maior composição de ácidos graxos saturados, é suscetível a reações oxidativas. Essas reações são decorrentes da interferência de agentes externos como a luz, calor, umidade, tornando-se vulnerável ao longo do tempo.

A oxidação lipídica é uma reação química que provoca a deterioração de alimentos contendo lipídios, diminui o valor nutricional e no caso da gordura de coco, causa principalmente a formação de aromas indesejáveis (OLIVER, et al., 2009). A oxidação inicia pela autooxidação mediada por radicais livres, que pode ser acelerada por fatores como íons metálicos e calor, ou por foto oxidação na presença de luz e sensibilizantes ou enzimas (AUGUSTIN; SANGUANSRI, 2003).

Os produtos primários de oxidação lipídica são hidroperóxidos, que se decompõem a radicais alcóxilo e peróxilo que propagam a cadeia, aumentando a taxa de rotação radical e passam por várias recombinações e vazões para formar produtos secundários, por exemplo, aldeídos, cetonas e álcoois (SCHAICH, 2005). Como a oxidação lipídica implica fortemente na vida útil dos alimentos e nas propriedades sensoriais (FENG et al., 2015), é necessário desenvolver estruturas que possam limitar o contato entre os lipídios e o meio externo em que são introduzidos.

Os ácidos graxos presentes na composição da gordura de coco são facilmente degradados por fungos dos gêneros: *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Trichoderma* e *Monascus*, este tipo de deterioração foi descrito como ranço cetônico (KINDERLERER, 1994). O crescimento microbiano pode resultar em uma perda significativa

de material biológico com uma produção concomitante de metabólitos microbiais que contribuem para odores e sabores desagradáveis. Durante a deterioração microbiana os alimentos podem ficar superaquecidos e perder a coloração característica.

O ranço é um termo subjetivo que é usado para descrever o odor de gorduras e óleos comestíveis após alterações oxidativas ou hidrolíticas (SINGH et al., 2017). O ranço cetônico pode ser controlado pela ausência de esporos de fungos a uma temperatura inferior a 4 °C; atividade de água inferior a 0,91; adição de ácido sórbico ou pela ausência de oxigênio (KINDERLERER, 1994). Portanto a proteção da gordura de coco contra o ambiente externo é uma alternativa para minimizar os efeitos adversos que podem causar sua deterioração.

2.3 SORO DE LEITE

Os produtos lácteos fornecem nutrição sob a forma de energia (carboidratos presentes como lactose), nitrogênio (das proteínas) e também atuam como fonte de cálcio. O soro de leite é o líquido residual obtido a partir da coagulação do leite destinado à fabricação de queijos, é uma solução multicomponente de constituintes solúveis em água que pode contribuir para enriquecer e desenvolver novos produtos alimentícios, tanto na alimentação humana quanto animal (CHAVES et al., 2010).

Existem dois tipos básicos de soro: soro de leite doce e ácido. Os principais componentes após a água, são lactose, proteínas do soro, minerais e gordura (Tabela 2) (PANESAR et al., 2007; JELEN, 2009).

Tabela 2- Composição média do soro lácteo bovino.

Componente	Teor (%)
Água	93,4
Lactose	4,60
Proteínas	0,70
Cinzas	0,65
Cálcio	0,10
Fósforo	0,08
Gordura	0,05
Outros	0,42

Fonte: Adaptado Carminatti (2001).

O soro de leite apresenta em média 4,6% de lactose, que é o seu principal carboidrato. Além das propriedades funcionais dos constituintes do soro de leite, este subproduto apresenta excelentes propriedades tecnológicas (ALVES et al., 2014). A lactose apresenta alta potencialidade de aplicação em formulações alimentícias, como em produtos panificados e balas, além de ser utilizada, quando pura, pela indústria farmacêutica (ALMEIDA et al., 2015; SOUZA et al., 2010). À medida que o teor de proteína representado por caseínas e proteínas de soro de leite aumenta, os níveis de lactose diminuem. O soro de leite com menor teor de lactose proporciona cor e sabor brandos, o que define a aplicação adequada para diferentes formulações de produtos em que os compostos de aroma podem ser ou não considerados interferentes (MULVIHILL, 1992; ISLAM; LANGRISH, 2010).

As proteínas possuem propriedades antioxidantes que são úteis para manter as características e proteger os ingredientes ativos quimicamente lábeis (MATALANIS et al., 2012). São completas e de alta qualidade, com um rico perfil de aminoácidos, fornecem benefícios à saúde e podem ser utilizadas como agentes encapsulantes na elaboração de produtos (MOKNI GHRIBI et al., 2015).

As proteínas de soro de leite são uma mistura de proteínas globulares que podem ser concentradas e exibir excelentes propriedades nutricionais (BURGAIN, et al., 2016). As proteínas do soro consistem principalmente em dois tipos, proteína de soro e caseína. A caseína é uma fosfoproteína e utilizada como aditivo alimentar, um aglutinante seguro para misturas, fonte de carboidratos, aminoácidos, cálcio e fósforo (HARAGUCHI et al., 2006). Apresentam uma estrutura globular contendo algumas pontes de dissulfeto, que conferem um certo grau de estabilidade estrutural. As frações, ou peptídeos do soro, são constituídas de: beta-lactoglobulina (BLG), alfa-lactoalbumina (ALA), albumina do soro bovino (BSA), imunoglobulinas (Ig's) e glicomacropeptídeos (GMP). Essas frações podem variar em tamanho, peso molecular e função, fornecendo às proteínas do soro características especiais (NISHANTHI et al., 2017).

O concentrado proteico é uma forma processada de proteína de soro de leite que possui o menor nível de gorduras e colesterol em comparação com outras formas de soro comercialmente disponível, mas um alto nível de compostos bioativos. Também contém carboidratos na forma de lactose e tem um teor de proteína na faixa de 65-70% (MOHAN et al., 2015).

A constituição das proteínas de soro de leite produzidos a uma escala industrial usando técnicas de filtração contém quantidades residuais de caseínas além das proteínas de soro globulares (COPPOLA, et al., 2014). As caseínas são resistentes ao calor e melhoram a

estabilidade ao calor de emulsões com baixas concentrações de proteína, formando longas caudas pendentes na superfície de gotículas de gordura (KELLY et al., 2014).

O processamento para desenvolver produtos ajuda a reduzir a poluição ambiental e também proporciona ao setor lácteo um incentivo econômico adicional devido à possível venda desses produtos recuperados ou processados (GANJU; GOGATE, 2017). Durante anos, o soro de leite era considerado um desperdício e descartado diretamente nos recursos hídricos criando preocupações ambientais. O problema é minimizado com a concentração das proteínas do mesmo e concentrando soro doce por evaporação até ~ 45-60% de sólidos solúveis, seguido de cristalização de lactose e secagem por pulverização para produzir um soro de soro de leite livre não pegajoso (DE WIT, 2001), que atualmente é usado em diferentes aplicações de alimentos com aplicação na alimentação humana e animal.

A adição de produtos lácteos às dietas no período pós-desmame em suínos resulta em melhores taxas de crescimento, maior consumo de ração e melhores índices de eficiência alimentar quando comparadas a leitões alimentados com dieta a base de milho e soja (HAUPTLI, et al., 2005). Rico em nutrientes, o soro de leite, é uma alternativa para a indústria de alimentos, utilizando-o em formulações alimentícias, na perspectiva de otimizar o valor comercial do soro, proporcionar uma destinação adequada e desenvolver novos produtos à base deste fluido industrial.

2.4 MICROENCAPSULAÇÃO

O conceito de microencapsulação surgiu da idealização do modelo celular (RÉ, 2000). Nele, a membrana que envolve e protege o citoplasma e os demais componentes exerce, ao mesmo tempo, as funções de controlar a entrada e saída de material na célula. Com o desenvolvimento de novas pesquisas, a aplicação da microencapsulação estendeu-se à incorporação de aditivos naturais e ingredientes, que visam a proteção e a preservação das características e a liberação do produto nos diferentes meios que ele se aplica (SUN et al., 2013).

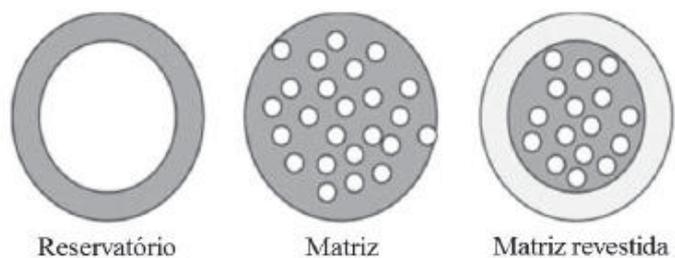
Na área de alimentos, os estudos foram iniciados nos anos 1960 pelo Instituto de Pesquisas Southwest, nos Estados Unidos, com a microencapsulação de óleos essenciais para prevenir a oxidação e perda de substâncias voláteis e controlar a liberação do aroma (CHUNG et al., 2011).

O processo de microencapsulação consiste no aprisionamento de células, enzimas ou ingredientes alimentares (GIBBS et al., 1999) em substâncias que atuam como revestimento (BAKOWSKA-BARCZAK; KOLODZIEJCZYK, 2011). São constituídas por um material

interno, denominado de material ativo, recheio ou núcleo, enquanto o externo, é o agente microencapsulante, parede ou membrana (SUN et al., 2013).

As cápsulas, em relação à estrutura física, podem ser caracterizadas como reservatório, matriz e matriz revestida (Figura 1). As cápsulas do tipo reservatório apresentam uma camada ou uma cápsula em torno do material núcleo, já o tipo matriz, tem o material núcleo disperso sobre o material encapsulante e/ou sob a superfície, enquanto que a combinação da cápsula do tipo reservatório com a do tipo matriz, forma um terceiro tipo, a matriz revestida (ZUIDAM; NEDOVIC, 2010), ou seja, é uma camada adicional a cápsula já formada.

Figura 1 – Tipos de cápsulas.



Fonte: Zuidam; Nedovic (2010).

O objetivo da microencapsulação é formar uma barreira entre o núcleo da cápsula e as condições adversas do ambiente (SÁNCHEZ et al., 2016) como a umidade, luz, oxigênio, pH (FANG; BHANDARI, 2010; YAN, 2014), além de liberar o componente em locais específicos (MENEZES et al., 2013). A microcápsula é capaz de estabilizar o material microencapsulado, controlar reações oxidativas, mascarar sabores, cores ou odores indesejáveis, prolongar a vida útil e proteger compostos de valor nutricional (FÁVARO-TINDADE et al., 2008; LI et al., 2009; BUREY et al., 2009).

As cápsulas são classificadas de acordo com o seu tamanho, sendo macrocápsulas ($> 500 \mu\text{m}$), microcápsulas ($0,2 \mu\text{m}-500 \mu\text{m}$) e nanocápsulas ($< 0,2 \mu\text{m}$) (RÉ, 1998). As microcápsulas podem ter formato esférico, tubular, oval ou irregular (KHADIRAN et al., 2015), sendo que o formato varia em função do método e do material encapsulante escolhido. A elaboração das microcápsulas pode ser realizada por três técnicas diferentes (Tabela 3).

Quadro 1 – Diferentes técnicas de microencapsulação.

Métodos	Técnicas
químicos	polimerização em suspensão polimerização em dispersão polimerização em emulsão
físico-químicos	coacervação CO ₂ supercrítico assistido
físico-mecânicos	<i>Spray dryer</i> encapsulação eletrostática

Fonte: Adaptado Giro-Paloma et al., (2010).

A escolha do método depende da aplicação da microcápsula, o tamanho desejado, o mecanismo de liberação e as propriedades físico-químicas do material ativo e do agente encapsulante (GIRO-PALOMA et al., 2010).

Uma das grandes importâncias e relevâncias das técnicas de encapsulação tem sido a preservação do potencial antioxidante de determinados alimentos/ingredientes e a viabilidade de sua aplicação em alimentos prontos para consumo (BOTELHO et al., 2017).

2.4.1 Materiais encapsulantes

O mecanismo de liberação do material interno da cápsula é de acordo com a natureza do agente encapsulante, sua função é proteger o material núcleo, garantindo uma liberação controlada (MARESCA et al., 2016), sendo utilizado também como cobertura para a microcápsula. Eles podem ser polímeros naturais ou sintéticos, dependendo do material núcleo, o processo de encapsulação e as características desejadas (SÁNCHEZ et al., 2016).

A escolha do agente encapsulante depende de alguns fatores, entre eles o processo utilizado para a formação da microcápsula, o mecanismo de liberação ideal e a não reatividade com o material a ser encapsulado (FAVARO-TRINDADE et al.; 2008). Os carboidratos, as proteínas do leite e os novos biopolímeros constituem as três principais classes de materiais de parede disponíveis e adequados para a microencapsulação por *spray dryer* (JAFARI et al., 2008).

Um dos fatores essenciais a ser discutido durante a escolha de um método de produção de sistemas encapsulantes são as características do material encapsulante, que deve levar em conta sua capacidade de dispersar ou emulsificar o material ativo, bem como não reagir com o

material a ser protegido. Além disso, o material precisa fornecer máxima proteção ao material ativo contra as condições ambientais adversas para o bioativo encapsulado, ter um custo acessível e ser de grau alimentício (DESAI; PARK, 2005). A função do agente encapsulante é proteger o material núcleo, garantindo uma liberação controlada (WÜRTH; FOERST; KULOZIK, 2016), mas, além disso, também pode ser utilizado como cobertura para a microcápsula.

Os agentes encapsulantes utilizados no processo de encapsulação podem ser polímeros naturais ou sintéticos, dependendo do material núcleo, o processo de encapsulação e as características desejadas (SÁNCHEZ et al., 2016). Eles devem ser de grau alimentício, biodegradáveis e capazes de proteger o material núcleo, além de proporcionar uma boa estabilidade durante o processamento e também nos produtos finais.

As proteínas presentes no soro de leite são consideradas surfactantes naturais (ÇAKIR-FULLER, 2015) e possuem propriedades antioxidantes (MATALANIS et al., 2012). A lactose é fonte de energia, por ser um dissacarídeo e possui propriedades sensoriais desejáveis como aroma e sabor doce (NEDOVIC et al., 2011). O tipo de agente encapsulante utilizado também desempenha um papel significativo nas características da alimentação e do pó. Características de emulsão, como estabilidade, viscosidade, tamanho das gotículas e características do pó são afetadas principalmente pelo tipo de agente portador (JAFARI et al., 2008). Os agentes transportadores mais utilizados para encapsulação de óleo são a maltodextrina (MD), a goma arábica (GA) e os concentrados de proteína de soro de leite (WPC). A maltodextrina (MD) é amido hidrolisado e tem baixo custo, baixa viscosidade em concentrações mais altas e fornece proteção contra a oxidação (AKHTAR; DICKINSON, 2007), mas tem baixa capacidade de emulsificação. Portanto, é preferível combinações com outros agentes protetores, como a GA e WPC (BULE et al., 2010).

Deste modo, a microencapsulação de compostos sensíveis utilizando soro de leite como principal agente encapsulante torna-se uma alternativa promissora na proteção de compostos sensíveis como probióticos e óleos essenciais.

2.4.2 Agente ativo

O agente ativo é o núcleo no processo de microencapsulação, é o material de interesse, que necessita ser protegido e liberado em ambiente desejado (FRASCARELI, 2012). Podem ser moléculas bioativas (por exemplo, agentes aromatizantes, edulcorantes, corantes, óleos e vitaminas) ou células vivas como probióticos (POKORNY, 2007). Muitas das moléculas

bioativas microencapsuladas apresentam capacidade antioxidante, evitando a oxidação de compostos (OROIAN; ESCRICHE, 2015).

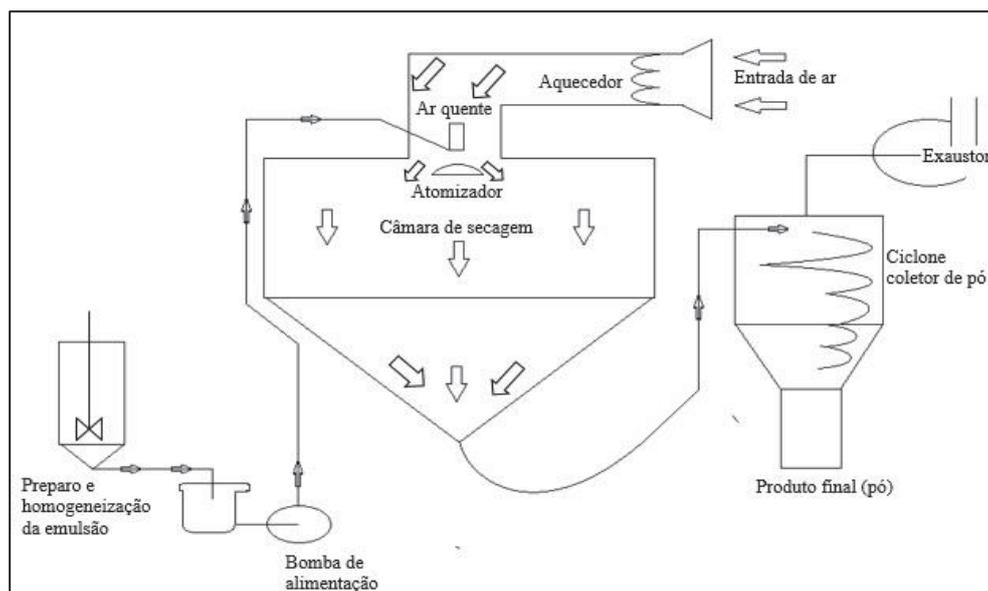
A microencapsulação de moléculas bioativas, ingredientes funcionais ou células vivas para indústria alimentar deve considerar vários fatores, como preocupações tecnológicas (propriedades de fabricação e armazenamento), viabilidade econômica e satisfação dos consumidores (AGUIAR et al., 2016). O agente ativo microencapsulado deve ser protegido e conservado (DESAI; PARK, 2005; LESME; McCLEMENTS, 2009), através de técnicas como a microencapsulação (DRIDI et al., 2016), que evita a instabilidade química criada pelo ar, luz, altas temperaturas e umidade, sendo estes os fatores responsáveis pela rápida degradação e evaporação do agente ativo em estudo.

2.4.3 Secagem por *Spray dryer*

A remoção de água de produtos é uma prática comum como forma de assegurar a estabilidade microbiológica, prevenir reações de degradação e oxidação que podem alterar as características do produto (CALISKAN; DIRIM, 2013).

A secagem por *Spray dryer* ou pulverização, depende de uma série de fatores, dentre eles o tamanho de partícula requerido, as propriedades físicas e químicas do material encapsulante e do bioativo, mecanismos desejados de liberação, escala de produção e custo (GOMES, 2011). É indicada para materiais sensíveis, devido a secagem em altas temperaturas por períodos curtos de tempo (PATRICK et al., 2013). A técnica envolve três passos básicos: preparação da dispersão; homogeneização e atomização. Na última etapa, ocorre a desidratação das partículas atomizadas (GHARSALLAOUI et al., 2007).

Neste processo, uma corrente fluída (líquida) é convertida em pequeninas gotículas através de um atomizador. Previamente, incorpora-se ao líquido um encapsulante que tem como objetivo proteger o núcleo, ou seja, o líquido encapsulado, quando este encontrar tanto o ar, aquecido da câmara de secagem, como as paredes quentes do equipamento. As finas gotículas formadas submetem-se a forças centrífugas e liberam água ainda dentro da câmara de secagem, transformando-se em pequenas partículas sólidas em forma de pó. As partículas do pó formado descem pela câmara de secagem e são separadas por tamanho, em um ciclone, que fica conectado na saída da câmara de secagem (Figura 2). As partículas formadas podem ser de diferentes tamanhos, macro, micro e nanopartículas, dependendo do tipo de equipamento utilizado e das condições do processo (MARFAT, 2010).

Figura 2- Esquema representativo do processo de secagem por *Spray dryer*.

Fonte: Adaptado Reineccius (2004).

Esta técnica é utilizada para capturar compostos lábeis em um material de suporte, o que os protege da evaporação, degradação e produção de sabores durante o armazenamento (BLASZCZAK et al., 2013). Em pós microencapsulados contendo óleos, a estabilidade dos lipídios é controlada pelas propriedades do material da parede e pela interface óleo-matriz, a presença de fatores antioxidativos e pró-oxidativos e as condições de armazenamento (GHARSALLAOUI et al., 2012; OLIVER et al., 2011).

Os parâmetros da formulação e do processo tornam-se importantes para obter as características desejadas no produto em pó. Em primeiro lugar, o preparo da amostra e sua homogeneização desempenharam um papel essencial no rendimento do produto seco (FRASCARELI et al., 2012). Especificamente, os parâmetros mais significativos são o conteúdo do núcleo e a concentração total de sólidos, que deve ser elevada para que haja menor teor de água na amostra a ser seca (FRASCARELI et al., 2012; WANG et al., 2009). Em segundo lugar, as condições operacionais dependem das características da suspensão de alimentação e das propriedades de produto desejadas (GALLEGOS-INFANTE et al., 2013). Neste contexto, devem ser consideradas condições de secagem ótimas (como fluxo de ar de alimentação e atomização, temperatura de entrada de ar de secagem, entre outros) para minimizar o material de núcleo não encapsulado no produto (FRASCARELI et al., 2012; WANG et al., 2009; JAGTAP et al., 2016).

A secagem por *Spray dryer* possui fácil disponibilidade de equipamentos, baixos custos de processo, podendo ser utilizada para obter produtos com propriedades específicas

(CALISKAN; DIRIM, 2013; MISHRA et al., 2014; SINGH; DIXIT, 2014). É o processo mais utilizado devido a simples operação e boa relação custo benefício, visando a proteção, estabilidade e segurança do produto final.

2.4.4 Microencapsulação de óleos seguida de secagem por *Spray dryer*

A microencapsulação de óleos é uma alternativa para proteger ácidos graxos contra a oxidação, permitindo assim a sua aplicação em alimentos. Os óleos e gorduras sofrem rápida deterioração devido sua composição e à oxidação durante o processamento, transporte e armazenamento. Sendo assim, necessitam de uma proteção adequada antes de sua aplicação ou incorporação em produtos alimentícios (TIMILSENA et al., 2017).

A primeira microencapsulação com sucesso de óleo de aromas foi realizada em matriz de goma arábica através da secagem por pulverização em 1927 (FANGER, 1974). A secagem por pulverização ainda é a técnica mais frequente e amplamente utilizada na indústria para encapsular muitos ingredientes alimentares instáveis e agentes farmacêuticos ativos (ARSLAN et al., 2015).

Dois estratégias principais são aplicadas pelas indústrias de alimentos para minimizar a deterioração de óleos e gorduras, são elas: i) incorporação de antioxidantes naturais ou sintéticos em óleos e gorduras para minimizar a oxidação; e ii) microencapsulação para evitar seu contato direto com estressores ambientais, incluindo oxigênio, calor, umidade e luz. (TIMILSENA et al., 2017). As proteínas e polissacarídeos incluindo gomas, individualmente ou na forma complexada, são comumente utilizados como materiais de revestimento para microencapsulação de ingredientes alimentícios, incluindo óleos ricos em ácidos graxos insaturados (SANGUANSRI; AUGUSTIN, 2011).

A técnica de microencapsulação seguida de secagem por *Spray dryer* tem sido utilizada com sucesso em grande variedade de alimentos, como fórmulas infantis e misturas de pão (SCHROOYEN et al., 2001), biscoitos recheados com creme (BORNEO et al., 2007) e alimentos instantâneos como sopas, bebidas de cacau, purê de batata, produtos lácteos (KOLANOWSKI et al., 2007). É uma técnica simples, de baixo custo, reproduzível e fácil de escalar. É adequada para encapsular materiais sensíveis ao calor (como óleos) por causa de seus curtos tempos de secagem (5 a 30 s) (DESAI & PARK, 2005). Este método produz micropartículas em pó com baixa atividade de água (a_w), simplificando o transporte, manuseio e armazenamento e garantindo a qualidade microbiológica (GOUIN, 2004).

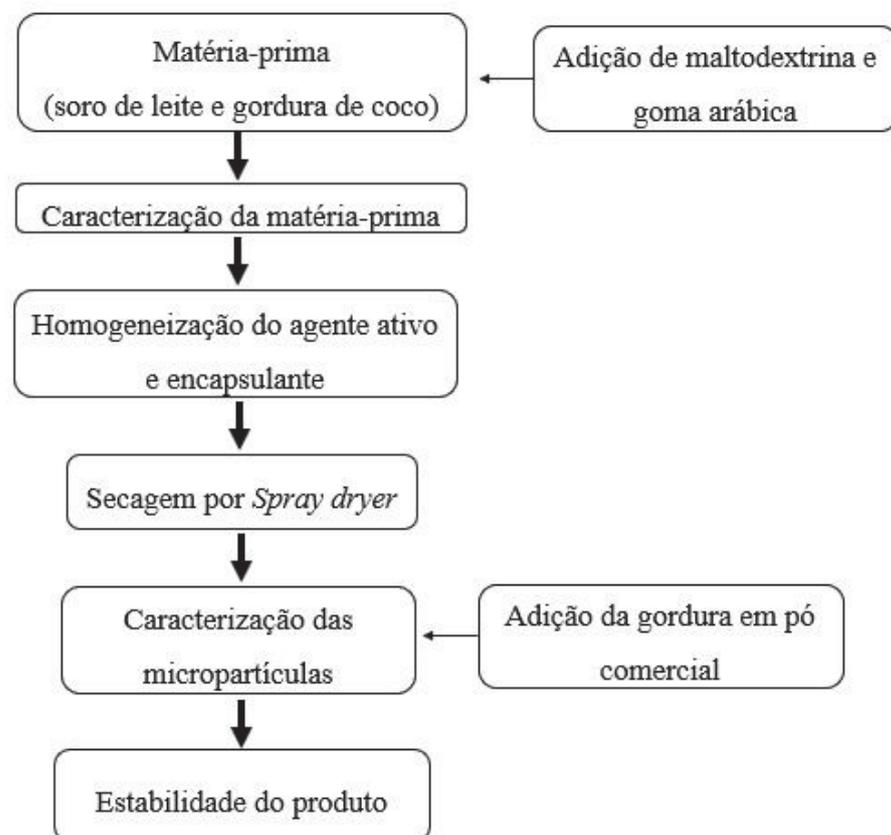
O processo de microencapsulação possui fundamental importância na indústria de alimentos e vem sendo amplamente utilizado com a finalidade de controlar a instabilidade, preservar compostos, e incluir ingredientes bioativos ou funcionais aos alimentos. Um exemplo disso, na área de laticínios é a produção do “*whey fat*”. O “*whey fat*” comercializado é composto basicamente por soro de leite, óleo de palma, gordura concentrada em pó. Primeiramente, é realizada a microencapsulação do óleo de palma utilizando o soro de leite como agente encapsulante e posteriormente a secagem, é adicionada a gordura concentrada em pó, proporcionando maior teor lipídico ao produto, o que acarreta em uma maior fonte de energia para a alimentação animal.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados nos Laboratórios do Curso de Engenharia de Alimentos e Laboratórios do Parque Científico e Tecnológico da Universidade de Passo Fundo.

Com o intuito de obter um produto chamado “*whey fat*” com a proteção da gordura de coco por meio da formação de micropartículas, utilizando o soro de leite como principal agente encapsulante, a pesquisa foi estruturada de acordo com a ordem disposta no fluxograma da Figura 3.

Figura 3 – Fluxograma das etapas de execução do trabalho.



Fonte: elaborado pelo Autor (2018).

3.1 MATÉRIAS-PRIMAS

O soro de leite concentrado e a gordura de coco (mistura de Coco Babaçu: *Orbignya phalerata* e Palmiste: *Elaeis guineensis*; QualiCôco) foram fornecidos pela Empresa RELAT – LATICÍNIOS RENNER S.A de Estação – RS. A maltodextrina (MD), (MOR REX 1920/Ingredion) e a goma arábica em pó pura (GA), (SYNTH) foram adquiridas pelo Laboratório de Bioquímica e Bioprocessos - UPF.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA E ELABORAÇÃO DAS MICROPARTÍCULAS

A gordura de coco foi caracterizada quanto ao perfil de ácidos graxos por Cromatografia Gasosa acoplada a Espectrômetria de massa (SHIMADZU, modelo GCMS – TQ8030), nas seguintes condições: coluna DB-WAX – 30 m x 0,25 mm x 0,25 µm; temperatura da coluna: 130 °C 0 min 2 °C/min até 210 °C (2 min); injeção Split 1:50; temperatura do injetor: 230 °C; volume injetado: 1 µL; método de quantificação: normalização de área; gás de arraste: Hélio Ultra Puro 1 mL min⁻¹. A análise foi realizada pelo Laboratório de Cromatografia do Centro de Pesquisa em Alimentação (CEPA), da Universidade de Passo Fundo (UPF).

As micropartículas foram elaboradas pela técnica de secagem por *Spray dryer* e foram baseadas: no processo de encapsulação, nos agentes encapsulantes utilizados, na quantidade de material núcleo capaz de ser aprisionado, homogeneização da amostra, na solubilidade e eficiência de encapsulação.

Foram estabelecidas 11 amostras para estudo, destas foram elaboradas 7 tipos diferentes de micropartículas, conforme delineamento do Quadro 2.

Quadro 2 – Delineamento experimental utilizado para o desenvolvimento de microcápsulas através da técnica de secagem por *Spray dryer*.

Amostras	Composição
1	Soro de leite.
2	Gordura de coco : soro de leite. 13% valor proteico.
3	Gordura de coco : soro de leite. 35% valor proteico.
4	<i>Whey fat</i> comercial.
5	Gordura de coco extra virgem comercial.
6	Gordura de coco : <i>whey protein</i> . 81% valor proteico.
7	Gordura concentrada em pó.
8	Gordura de coco: (Soro de leite+MD+GA).
9	Gordura de coco: (Soro de leite+GA).
10	Gordura de coco : soro de leite, com adição de gordura concentrada em pó (1:1 m/m).
11	Gordura de coco : (Soro de leite+MD+GA) com adição de gordura concentrada em pó (1:1 m/m).

Legenda: MD: Maltodextrina; GA: Goma arábica alimentícia.

Fonte: elaborado pelo Autor (2019)

As amostras 1, 4, 5 e 7 são amostras controle, adquiridas e fornecidas pela empresa Relat para a realização deste estudo. As demais amostras foram ensaios elaborados para o desenvolvimento das micropartículas.

Diferentes proporções de agente ativo (gordura de coco): encapsulante (soro de leite; maltodextrina ; goma arábica) foram testadas, sendo elas: 1:50, 1:40, 1:30, 1:20, 1:10 e 1:5 (v/v) (SÁNCHEZ et al., 2016; FRASCARELI, 2012; DESAI; PARK, 2005) e diferentes valores proteicos de soro de leite também foram testados (amostras 2, 3 e 6), com o intuito de avaliar se uma maior quantidade de proteína no agente encapsulante iria garantir uma maior proteção do agente ativo.

A partir disso, as proporções de agente encapsulantes foram definidas a) Soro de leite; b) Soro de leite:MD:GA (50:25:25 m/m) e c) soro de leite:GA (50:50 m/m) (JAFARI et al., 2008). Estes agentes encapsulantes em diferentes proporções foram dissolvidos em água utilizando um agitador magnético. Com base nos ensaios preliminares (em termos de eficiência de encapsulação %) e na literatura científica, as formulações foram preparadas sendo a

concentração de sólidos solúveis fixada em 30% e relação de 1:3 núcleo:encapsulante, respectivamente (PREMI; SHARMA, 2017).

As amostras 1, 2, 3 e 6 foram homogeneizadas em homogeneizador de bancada (Modelo TECNOLAB, TECNOHOMO, Brasil). O homogeneizador é uma bomba de pistões de alta pressão provida de válvulas homogeneizadoras. Pela queda brusca de pressão e o impacto, as partículas de sólidos ou líquidos suspensos no produto se fracionam em partículas extremamente pequenas, conforme as condições de operação. As amostras 8, 9, 10 e 11 foram homogeneizadas em Ultra Turrax (TE-102 Turratec, TECNAL) a 10.000 rpm durante 10 min.

Após a homogeneização, as amostras foram avaliadas quanto ao teor de sólidos solúveis, utilizando refratômetro digital (ATAGO, modelo Pocket PAL-J) calibrado com água destilada, de acordo com as instruções do fabricante. O resultado foi expresso em °Brix; seguidas de análise em Microscópio Óptico (Modelo ATC 2000, LEICA), com aumento de 100 e 250 vezes. Avaliou-se qualitativamente a forma e tamanho dos glóbulos de gordura e cristais de lactose presentes, tendo estes, relação direta com a pressão, velocidade e tempo exercidos no processo, além do tamanho das partículas após a secagem.

3.3 SECAGEM POR *SPRAY DRYER*

As amostras homogeneizadas 1, 2, 3, 6, 8, 9, 10 e 11 foram submetidas a secagem por *Spray dryer* (LabMaq, modelo MSD 1.0, Brasil) sendo avaliadas as seguintes condições (Tabela 3), que afetam diretamente o rendimento e o tamanho das partículas das amostras secas.

Tabela 3 – Parâmetros testados para homogeneização da amostra.

Parâmetro	Condições
Vazão da amostra	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7 e 0,8 L/h
Vazão do ar de secagem	40 L/min a 50 L/min
T ar de entrada	130, 140, 150, 160, 170 e 180 °C ± 2°C
T ar de saída	80 °C
Diâmetro do atomizador	1 mm, 2 mm e 3 mm

Fonte: elaborado pelo Autor (2018)

3.4 CARACTERIZAÇÃO DAS MICROPARTÍCULAS

3.4.1 Caracterização físico-química

A composição físico-química das micropartículas contendo gordura de coco, soro de leite, maltodextrina, goma arábica; *whey fat* comercial e gordura concentrada em pó foram caracterizadas quanto aos teores de umidade, cinzas, proteínas, lipídios e lactose. Estas análises foram realizadas segundo os métodos do Instituto Adolf Lutz (2008). O teor de lipídios foi avaliado de acordo com Bligh & Dyer (1959).

3.4.2 Caracterização Morfológica

As características superficiais (externas) foram avaliadas através do uso de microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura (MEV), (Modelo JSM-6390LV, JEOL). As partículas foram fixadas em *stubs* de alumínio sobre fitas de carbono adesivas e posteriormente recobertas com uma fina camada de ouro em equipamento Balzer (Baltec SCD50). As observações foram realizadas com aceleração de 20 kV.

3.4.3 Tamanho de partícula e dispersão granulométrica

O tamanho de partícula foi avaliado utilizando um instrumento de difração de luz laser (BETTERSIZER, modelo S2-WD), com faixa de análise entre 0,3 μm a 500 μm . Foram realizadas 100 leituras, não sendo necessário realizar a triplicata das análises. A partir de uma quantidade homogênea de amostra obtida, por meio do software específico, foi determinado o diâmetro médio e a distribuição de tamanho das micropartículas. O *span*, valor matemático definido como a medida da dispersão granulométrica (CHEN; DAVIS, 2002), avalia a variação do volume de distribuição das partículas em relação ao diâmetro médio, foi calculado de acordo com a Equação (1):

$$span = \frac{d_{(v,90)} - d_{(v,10)}}{d_{(v,50)}} \quad (1)$$

sendo:

$d_{(v,90)}$, $d_{(v,50)}$, $d_{(v,10)}$: diâmetro das partículas a 10%, 50% e 90%, respectivamente, da distribuição acumulada para a amostra.

3.4.4 Determinação da eficiência de encapsulação (EE%)

A quantidade de óleo não encapsulado foi avaliada para calcular a eficiência de encapsulamento imediatamente após a produção por secagem por *Spray dryer*. Para este fim, foi adicionado hexano (15 mL) a uma quantidade pesada com precisão (2 g) de pó das micropartículas seguido de agitação em vórtex da mistura durante 2 minutos à temperatura ambiente. A suspensão foi então filtrada em papel de filtro qualitativo e o resíduo enxaguado três vezes com 20 mL de hexano por cada vez (TONON et al., 2011; WANG et al., 2011).

A solução de filtrado contendo o óleo extraído foi transferida para banho maria a 80 °C, por 1 h. Após, em estufa a 70 °C durante 6 h para evaporação completa de hexano. A quantidade de óleo superficial foi calculada pela diferença nos pesos inicial e final do recipiente de pasta e a eficiência de encapsulação foi calculada de acordo com a Equação (2):

$$EE = \left(\frac{TO - SO}{TO} \right) \times 100 \quad (2)$$

sendo:

TO: Teor total de óleo (teor de lipídios em 2 g)

SO: Teor de óleo superficial.

3.4.5 Solubilidade em água

A solubilidade das micropartículas foi determinada segundo a metodologia descrita por Cano-Chauca et al. (2005), com adaptações. Para as análises utilizou-se 1 g de cada amostra adicionada à 100 mL de água destilada, obtendo-se uma suspensão. A mesma foi agitada em agitador magnético por 5 min em velocidade máxima em temperatura ambiente. Posteriormente, foi filtrada em tela de nylon utilizando bomba de vácuo e em seguida colocado 25 mL do filtrado em placa de Petri seca e vazia, com massa conhecida a qual foi levada à estufa a 105 °C, por 5 h. A solubilidade em água foi calculada pela diferença de massa e os resultados foram expressos em percentual.

3.4.6 Solubilidade em meio ácido

A solubilidade em meio ácido das micropartículas foi determinada pelo método gravimétrico publicado por Eastman e Moore (1984) e citado por Cano-Chauca et al. (2005) com modificações. Foi realizada uma solução com o ácido clorídrico (HCl), em diferentes níveis de pH, com o intuito de simular o pH estomacal do suíno (1,7 – 2,0) e verificar o comportamento da micropartícula nesse meio. Foi adicionado 1 g das cápsulas em 100 mL de água destilada com diferentes níveis de pH ácido e solução tampão fosfato (1,2; 4,5; 6,8), seguida de homogeneização a 100 rpm por 30 min. Essa solução foi centrifugada a 3500 rpm, por 5 min, sendo coletados 25 mL do sobrenadante e adicionados em cadinho de porcelana previamente pesado e tarado, mantendo em estufa a 105 °C, até a evaporação completa da água. O percentual de solubilidade foi calculado pela diferença de massa inicial e final.

A solubilidade em meio ácido, com diferentes níveis de pH é um indicativo de quanto a cápsula é resistente ao meio submetido. Em estudos utilizando soro de leite como agente encapsulante para liberação controlada em organismo animal, as amostras que apresentam níveis de solubilidade em meio ácido inferior a 70 %, são avaliadas quanto à digestibilidade *in vitro*, simulando o sistema digestivo do animal (HUR et al., 2009; BETZ et al., 2012).

3.5 ESTABILIDADE DAS MICROPARTÍCULAS

3.5.1 Determinação da atividade de água

A atividade de água das amostras foi avaliada utilizando aparelho LabMaster-aw *neo*, Novasina AG, de leitura direta. As leituras foram realizadas a temperatura de 25 °C, com tempo máximo de análise de 3 horas. O princípio de análise é através de uma célula eletrolítica resistiva e sensor infravermelho, com faixa de medição de 0,0300 a 1,0000 Aa (Umidade relativa de equilíbrio, de 3 a 100%) e temperatura de 0 a 60 °C. Resolução: 0,0001 Aa e temperatura de 0,1 °C.

3.5.2 Avaliação por espectroscopia na região do infravermelho

As amostras controle e ensaios elaborados foram analisadas por espectroscopia na região do infravermelho (Agilent Technologies, modelo Cary 630), empregando 4 mg de cada amostra, sendo que o registro dos espectros é realizado através da Transmitância (% T). Os

espectros foram coletados através de 48 varreduras no modo de absorbância de 4000 a 650 nm com uma resolução de 4 nm . As análises foram realizadas à temperatura ambiente (25 °C).

3.5.3 Calorimetria exploratória diferencial e Termogravimetria

A calorimetria exploratória diferencial (DTA) é um método de análise térmica, este permite avaliar as variações de entalpia que ocorrem com uma substância e um material de referência em função da temperatura, enquanto essas são submetidas a uma programação controlada de temperatura (JI et al., 2004).

As curvas de calorimetria exploratória diferencial (DTA) foram obtidas por uma célula calorimétrica (SHIMADZU, Kyoto, Japão), modelo DSC-60. Aproximadamente 5 mg das amostras foram acondicionadas em micro cadinhos de alumínio pré-tarados, os quais foram selados e frente a estes, antes do início do processo, foi colocado no calorímetro um micro-cadinho vazio, idêntico ao da amostra, utilizado como referência (AGGARWALL; DOLLIMORE, 1998; YU; CHRISTIE, 2001). As amostras foram analisadas sob atmosfera de nitrogênio de 50 mL/min, com taxa de aquecimento de 10 °C/min e faixa de temperatura entre 20 a 600 °C (LI et al., 2014).

A Termogravimetria (TG) é um sistema capaz de medir continuamente a massa de um material enquanto este é submetido a uma programação controlada de temperatura. É um método termoanalítico que permite verificar as alterações que o aquecimento pode causar nas substâncias, como modificações da estrutura molecular, além de estabelecer a faixa de temperatura em que as mesmas sofrem processos de decomposição (GIRON, 2002).

As curvas termogravimétricas foram obtidas em analisador térmico (SHIMADZU, modelo TGA-60). As amostras foram alocadas no sistema de balanço e aquecidas sob atmosfera de nitrogênio. As condições de análise foram as seguintes: massa da amostra aproximadamente 10,0 mg, em panelas de alumina e platina, dependendo a composição da amostra, utilizando uma panela vazia como referência; atmosfera da câmara de ar sintético na vazão de 100 mL/min, razão de aquecimento 10 °C/min, com faixa de temperatura de 20 a 600°C (AGGARWALL; DOLLIMORE, 1998). A temperatura inicial de decomposição (T_{di}), a temperatura máxima derivada da taxa de decomposição (TGA_{max}) e as perdas de peso correspondentes - assim como a massa residual foram determinadas.

3.5.4 Tratamento dos dados

Os resultados das amostras padrão e micropartículas foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas através do teste de Tukey com intervalo de confiança de 95% para avaliar comportamento das micropartículas, com exceção da análise morfológica, tamanho de partícula, avaliação por espectroscopia na região do infravermelho e termogravimetria.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

O soro de leite utilizado foi previamente desmineralizado por nanofiltração, cristalizado e concentrado com 60% sólidos solúveis à temperatura ambiente.

A gordura de coco foi caracterizada quanto ao perfil de seus ácidos graxos por Cromatografia Gasosa (Tabela 4).

Tabela 4 – Composição e quantificação dos ácidos graxos presentes na gordura de coco.

Simbologia	Nomenclatura	Quantidade % (g/100 g amostra)
C8:0	Ácido caprílico	1,33
C10:0	Ácido cáprico	2,13
C12:0	Ácido láurico	37,23
C14:0	Ácido mirístico	15,11
C16:0	Ácido palmítico	9,91
C18:0	Ácido esteárico	3,62
C18:1	Ácido oleico	26,56
C18:2	Ácido linoleico	3,84
C18:3	Ácido linolênico	0,27
Saturados		69,33
Insaturados		30,67

Fonte: elaborado pelo Autor (2018)

A gordura de coco é composta por praticamente 70% de ácidos graxos saturados e ao contrário de outros óleos e gorduras apresenta temperatura de fusão baixa e bem definida (24,4 - 25,6 °C) (ASSUNÇÃO et al., 2009). O ácido láurico, presente em maior quantidade (37,23%), destaca-se por ser resistente a oxidação não enzimática e é utilizado na indústria cosmética e alimentícia em virtude de suas propriedades físicas e estabilidade (MACHADO et al., 2006).

Apesar de representar 30% na composição da gordura de coco, os ácidos graxos insaturados podem sofrer oxidação de seus compostos. A oxidação é quase sempre acompanhada pela formação de ácido graxo livre e é acelerada pelo aquecimento, luz e temperatura, desenvolvendo sabor e odor indesejáveis (DEBMANDAL et al., 2011). Desta

forma, a proteção e estabilidade da gordura de coco torna-se necessária para garantir a qualidade do produto.

SILVA et al (2012) analisaram o perfil de ácidos graxos de óleo de coco produzidos em diferentes regiões do Brasil e constataram que o mesmo apresenta em maior quantidade o ácido láurico (54,7%), seguido pelo ácido mirístico (11,4%). A composição química do óleo de coco pode variar de acordo com a condição climática e localização geográfica em que foi produzido (HEE et al., 2017), variações na composição de ácidos graxos (%) da gordura de coco em estudo são provenientes das diferentes regiões de origem do coco, o que justifica a diferença entre a porcentagem dos ácidos graxos da gordura de coco em estudo relacionada a estudos anteriores.

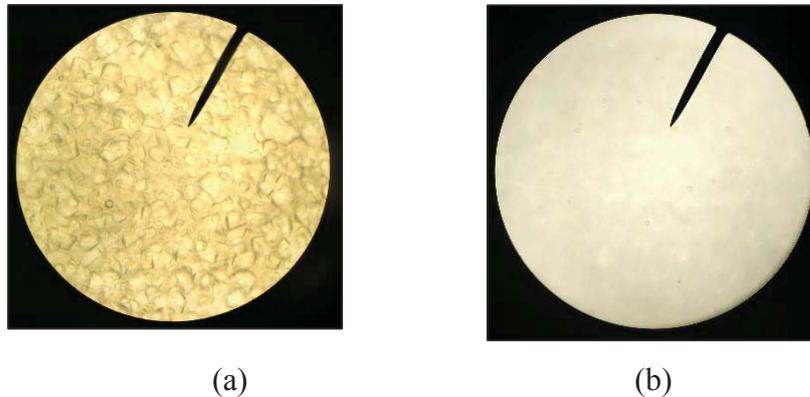
4.2 ELABORAÇÃO DAS MICROPARTÍCULAS

Os parâmetros estabelecidos para definir a proporção de agente ativo:encapsulante ideal foram: obter uma homogeneização efetiva da mistura sem separação de fases e reduzida perda de amostra na câmara de secagem.

No processo de homogeneização, utilizando homogeneizador de bancada, com pressão de 200 bar; vazão de alimentação de 50 L/h e tempo de homogeneização de 8 min, ocorreu a quebra dos glóbulos de gordura, assim como dos cristais de lactose presentes no soro de leite, em partículas menores, facilitando a mistura com a gordura de coco.

A homogeneização permitiu diminuir e dispersar as partículas suspensas de modo que a mistura se tornou menos viscosa e estável, facilitando os processos seguintes, como a alimentação da amostra na secagem por *Spray dryer*. Devido à pressão exercida e impacto, as partículas suspensas na amostra se fracionaram em menor tamanho (Figura 4), comprovando a homogeneização da amostra, através da análise por Microscopia Óptica.

Figura 4. Microscopia óptica (a) soro de leite a temperatura ambiente, aumento de 100 vezes; (b) soro de leite homogeneizado, aumento de 100 vezes.



Fonte: elaborado pelo Autor (2018)

A homogeneização da amostra padrão de soro de leite melhorou o aspecto e consistência da mesma, tornando-o menos arenoso devido ao seu alto teor de lactose. Além disso, os parâmetros de pressão (homogeneizador) e velocidade (Ultra Turrax) foram eficientes na homogeneização dos encapsulantes (soro de leite, MD e GA) e da gordura de coco, resultando em amostras sem separação de fases, com rompimento dos cristais de lactose, diminuindo a viscosidade e melhorando a consistência da mistura. Pelo fato dessa análise ser qualitativa, após a secagem por *Spray dryer*, as amostras foram avaliadas novamente através do analisador de partículas por difração a laser, para uma avaliação quantitativa do efeito da homogeneização no tamanho das partículas da mistura.

4.2.1 Secagem por *Spray dryer*

A melhor proporção de gordura de coco e agente encapsulante foi de 1:50 (v/v). Nessa proporção, a quantidade de soro de leite, MD e GA foram suficientes para cobrir as gotículas de gordura e evitar sua aderência elevada nas paredes da câmara de secagem. Rodrigues e Grosso (2008) indicaram que as proporções de material de parede adequadas dependem principalmente de sua composição. O soro de leite utilizado na elaboração das micropartículas possui 60% de sólidos totais em 100 mL, totalizando 30 g de sólidos totais (Equação 3). Destas 30 g, 13% é valor proteico (Equação 4). Essa razão totaliza uma relação de 1:3 m/m de agente ativo: encapsulante, a qual é utilizada para a técnica de microencapsulação de óleos e gorduras (MENEZES et al., 2013; MARESCA et al., 2016; SÁNCHEZ et al., 2016).

$$\left(\frac{50 \text{ mL soro de leite} * 60 \text{ g sólidos totais}}{100 \text{ mL}} \right) = 30 \text{ g de sólidos} \quad (3)$$

$$30 \text{ g sólidos} * 0,13 \text{ valor proteico} = 3 \text{ g proteínas.} \quad (4)$$

Portanto, pelo fato dos agentes encapsulantes testados possuírem alta concentração de lactose e carboidratos e baixo teor proteico, foi necessária uma maior quantidade dos mesmos para revestir a gordura.

As amostras submetidas a secagem por *Spray dryer* que apresentaram visualmente a melhor resposta, em relação a baixa perda de produto no processo, foram nos seguintes parâmetros: vazão da amostra 0,7 L/h; vazão do ar de secagem 45 L/min, temperatura de entrada 180 °C. A temperatura do ar de saída foi fixada no início do processo em 80 °C e o diâmetro do atomizador definido foi de 3 mm; esses parâmetros são semelhantes aos utilizados pela indústria láctea para a secagem do soro de leite em pó comercializado.

O processo de microencapsulação seguido de secagem por *Spray dryer* é o mais utilizado para a proteção de aromas e sabores (TRIFKOVIC et al., 2016; FRASCARELI et al., 2012) e possui o desafio de remover a água sem perda de componentes do agente ativo durante o processamento. Todas as formulações testadas com quantidade de agente encapsulante inferior a 1:50 (v/v) não finalizaram o processo (APENDICE B), ocorreu elevada incrustação do pó na câmara de secagem e não houve rendimento na saída do ciclone.

A proporção de agentes encapsulantes definidas (1:50 v/v) foi capaz de revestir a gordura de coco e apresentar uma secagem com perda mínima de produto no equipamento. Os parâmetros da análise foram estabelecidos tendo por objetivo uma secagem eficiente, sendo a relação entre vazão, tempo e temperatura de secagem importantes, visando baixa perda de amostra no equipamento e umidade do produto final inferior a 4,0 %, de acordo com os padrões de secagem por *Spray dryer* (KOO et al., 2014; WEINBRECK et al., 2004).

Durante a secagem, a viscosidade mais alta faz com que o concentrado resista à agitação, tendendo a evitar a sua separação e levando a um tamanho de gotícula médio maior (SCHUCK et al., 2005), dificultando a alimentação da amostra no bico atomizador. Todos os parâmetros foram testados tendo em vista uma quantidade considerável de pó seco coletado no ciclone e baixa encrustação de amostra na camera de secagem. O rendimento não foi calculado devido a aglomeração mínima, mas inevitável das amostras na parede do equipamento, sendo essas partículas maiores que as desejáveis para este estudo e com teor de umidade superior ao padrão desta técnica.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DAS MICROPARTÍCULAS

4.3.1 Caracterização físico-química

A Tabela 5 apresenta os resultados da composição físico-química das amostras analisadas.

Tabela 5 – Composição físico-química das amostras, valores expressos em %.

Amostra	Umidade	Cinzas	Proteínas	Lipídios	Lactose
1	1,25 ± 0,05 ^a	5,44 ± 0,10 ^f	11,57 ± 0,26 ^d	1,53 ± 0,11 ^a	81,86 ± 0,08 ⁱ
2	3,61 ± 0,15 ^{bc}	6,02 ± 0,06 ^f	12,10 ± 0,11 ^d	5,87 ± 0,33 ^b	75,84 ± 0,01 ^h
3	3,88 ± 0,30 ^{cd}	4,54 ± 0,33 ^{cd}	34,49 ± 0,46 ^d	5,86 ± 0,93 ^b	42,80 ± 0,46 ^d
4	3,55 ± 0,10 ^{bc}	3,92 ± 0,02 ^{bc}	5,72 ± 0,09 ^c	42,35 ± 0,22 ^c	39,95 ± 0,38 ^c
5	-	-	-	-	-
6	3,41 ± 0,14 ^{bc}	3,84 ± 0,60 ^b	76,57 ± 0,64 ^f	4,93 ± 0,24 ^b	4,07 ± 0,16 ^a
7	9,57 ± 0,60 ^e	1,50 ± 0,10 ^a	1,24 ± 0,13 ^a	38,14 ± 1,7 ^c	16,02 ± 0,24 ^b
8	3,17 ± 0,12 ^b	7,01 ± 0,08 ^f	2,77 ± 0,15 ^b	5,29 ± 0,14 ^b	49,13 ± 0,27 ^f
9	4,42 ± 0,11 ^d	4,76 ± 0,13 ^{de}	3,08 ± 0,08 ^b	5,24 ± 0,18 ^b	71,04 ± 0,01 ^g
10	3,40 ± 0,05 ^{bc}	5,38 ± 0,18 ^{ef}	11,29 ± 0,06 ^d	40,20 ± 0,01 ^{cd}	45,13 ± 0,73 ^e
11	3,87 ± 0,02 ^{cd}	6,24 ± 0,71 ^f	2,77 ± 0,15 ^b	40,45 ± 0,03 ^{de}	44,69 ± 0,30 ^e

Legenda: 1) Soro de leite (Padrão); 2) Gordura de coco : soro de leite. 13% valor proteico; 3) Gordura de coco : soro de leite. 35% valor proteico; 4) *Whey fat* comercial; 5) Gordura de coco extra virgem; 6) Gordura de coco : *whey protein*. 81% valor proteico; 7) Gordura concentrada em pó; 8) Gordura de coco: (Soro de leite+MD+GA); 9) Gordura de coco: (Soro de leite+GA); 10) Gordura de coco : soro de leite, com adição de gordura concentrada em pó (1:1 m/m); 11) Gordura de coco : (Soro de leite+MD+GA) com adição de gordura concentrada em pó (1:1 m/m). Média ± desvio padrão; Valores seguidos de letras iguais na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: elaborado pelo Autor (2019)

Com a caracterização físico - química das amostras, após a secagem, o intuito foi avaliar se o teor de lipídios nas micropartículas era superior a amostra padrão (soro de leite), isso seria um dado prévio de que os agentes encapsulantes seriam ou não capazes de aprisionar a gordura de coco e se houve elevada perda de agente ativo durante a secagem por *Spray dryer*.

Levando em consideração a proporção de gordura de coco: agente encapsulante (1:3 m/m), o teor de gordura adicionado é baixo (~ 5 %), mesmo assim foi possível detectar um aumento no teor de lipídios nas micropartículas. A observação experimental permitiu identificar que a gordura adicionada, apesar de ter ocorrido perdas no processo de secagem, aumentou o teor de lipídios, em comparação com a amostra controle 1. As amostras 3 e 6, apesar de

possuírem um teor proteico superior a amostra padrão, apresentam teor de lipídios igual/inferior a amostra 2, indicando que neste caso, uma maior concentração proteica não implica na proteção/agregação da gordura de coco durante a homogeneização e no processo de secagem.

Os valores de umidade foram inferiores às especificações mínimas (3 - 4 %) para evitar a deterioração microbiana em pós secos utilizados na indústria de alimentos (CAMPOS et al., 2015). As amostras 7 e 9 apresentaram valor superior, isso pode ser explicado pelo fato da amostra 7 ter sido adquirida com este teor de umidade e a amostra 9 por não ter sido emabalada imediatamente após a secagem. As amostras 3 e 6, com maior teor de proteico, em relação a amostra padrão, não apresentaram maior concentração de lipídios, por este fato e pelo objetivo do trabalho - utilizar um soro de leite com elevado teor de lactose - ambas foram descartadas das etapas seguintes do processo.

Em geral, o teor de umidade e a atividade da água estão relacionados com o teor de gordura e a temperatura de secagem. Estudos anteriores relataram que há uma relação linear entre a inclusão de aroma e teor de umidade, o que sugeriu que o aumento das concentrações de aroma lipossolúvel causa uma diminuição no teor de água das micropartículas (ADAMIEC et al., 2006; FERNANDES et al., 2008). Do mesmo modo, como a gordura de coco foi adicionada às cápsulas, há maior fração lipídica e teor de umidade nas micropartículas analisadas, mesmo assim a umidade ainda apresenta-se inferior à especificação mínima padrão.

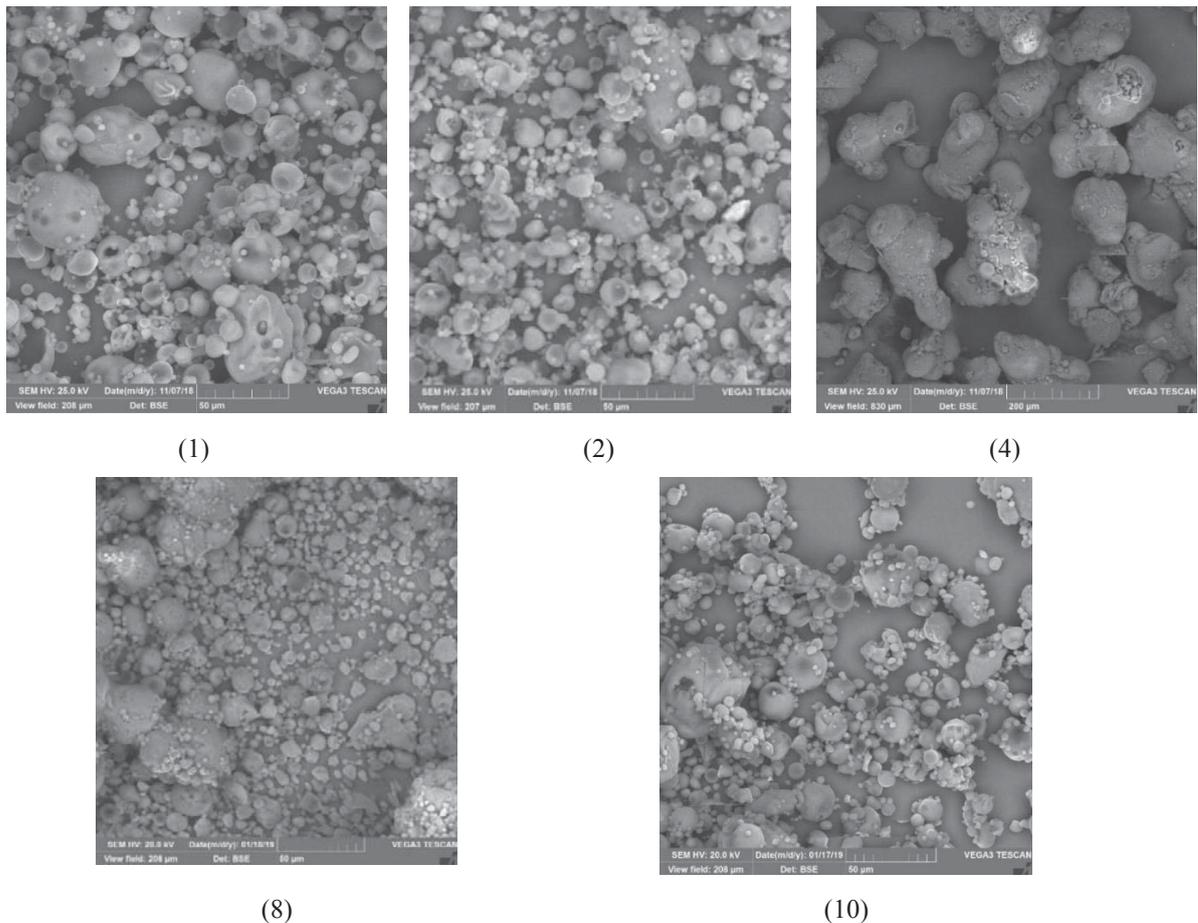
A amostra 10, que é o produto final elaborado, apresenta teor de lipídios igual a amostra 4, que é o produto já comercializado, sendo estas amostras, estatisticamente iguais ($p \leq 0,5$). Porém o teor de lactose é mais elevado na amostra 10, isso pode ser um indício de que o *whey fat* comercial possui maltodextrina (MD) como principal agente encapsulante. A MD é amido hidrolisado e tem baixo custo, baixa viscosidade em concentrações mais altas e fornece proteção contra a oxidação, mas tem baixa capacidade de emulsificação, por isso é vastamente utilizada pela indústria em combinação com outros agentes encapsulantes, como o soro de leite e a GA (BULE et al., 2010). Além disso, não é detectada na análise de açúcares redutores (lactose), a qual foi utilizada neste estudo.

Com o intuito de elaborar um produto utilizando a técnica de microencapsulação, gordura de coco e soro de leite e que este possuísse as mesmas características do produto já comercializado, obteve-se um bom resultado, com similaridade no teor lipídico. O percentual restante da composição centesimal não quantificado é em relação ao teor de fibras e aos constituintes das amostras controle comercializadas que não fornecem em sua composição os ingredientes utilizados para sua fabricação.

4.3.2 Caracterização Morfológica

A análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV) é uma técnica amplamente utilizada para avaliar o perfil superficial de micropartículas (PRAKASH et al., 2018). Através da análise morfológica por MEV (Figura 5), verificou-se que os parâmetros de secagem utilizados no processo foram adequados, sem apresentar danos às micropartículas.

Figura 5. Análise morfológica em microscópio eletrônico de varredura (MEV).



Legenda: (1) Soro de leite, aumento 2000 x. (2) Gordura de coco:soro de leite. 13% proteínas, aumento 2000 x. (4) *Whey fat* comercial, aumento 500 x. (8) Gordura de coco: (soro de leite+MD+GA), aumento 2000 x. (10) Gordura de coco:soro de leite com adição da gordura concentrada em pó (1:1 m/m) aumento 2000 x.

Fonte: elaborado pelo Autor (2018)

As amostras apresentam forma arredondada, são levemente abauladas, íntegras, sem rachaduras, adequados para a aplicação da microencapsulação. A polidispersidade do tamanho é uma característica típica das partículas produzidas por secagem por pulverização (CARNEIRO et al., 2013). Este resultado evidencia que o *Spray dryer*, apesar de apresentar perda de amostra no equipamento durante o processo, pode ser utilizado para o encapsulamento

da gordura, sem causar danos à morfologia das cápsulas e foi capaz de formar partículas em escala micro (10^{-6}).

A morfologia teve influência significativa nas propriedades físicas do pó encapsulado, as microestruturas produzidas com combinações de diferentes agentes encapsulantes, exibiram micropartículas de superfícies lisas e ásperas de diferentes tamanhos (ENCINA et al., 2016). As amostras 1 e 2 apresentaram maior semelhança em relação à morfologia, com menor aglomeração das partículas e tamanho semelhante. A amostra 4 apresentou elevada aglomeração das partículas, tamanho maior, devido à composição não conhecida da amostra, adição da gordura concentrada em pó e é possível visualizar algumas rachaduras nas micropartículas, o que pode comprometer a proteção do agente ativo da amostra. A amostra 8 exibe superfícies lisas de tamanho maior, o que pode ser devido à maior viscosidade da emulsão e capacidade de emulsificação dos agentes encapsulantes utilizados.

A amostra 10 que é o produto desenvolvido, possui aglomeração e tamanho das micropartículas menores, quando comparada a amostra 4; há maior polidispersidade da amostra, decorrente dos parâmetros de secagem definidos neste processo. Além disso, as micropartículas apresentam-se abauladas, mas sem a presença de rachaduras, o que torna-se um fator importante visto que os agentes encapsulantes tem a função de proteger o agente ativo contra os danos externos como a temperatura, por exemplo.

4.3.3 Tamanho de partícula e dispersão granulométrica

As amostras 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10 e 11 foram submetidas à 100 medições em cada amostra durante a análise. Os valores médios dos diâmetros D_{10} , D_{50} e D_{90} , bem como o tamanho médio de partícula foram calculados pelo *software* e o valor de *Span* é referente à dispersão verificada de cada amostra (Tabela 6).

Tabela 6 - Distribuição do tamanho das micropartículas

Amostra	D10 (µm)	D50 (µm)	D90 (µm)	D[4,3] (µm)	Span (µm)
1	6,254	24,23	67	28	2,506
2	6,763	35,28	381,1	96,43	10,6
4	39,88	183,6	418,8	187,0	2,06
7	3,267	13,01	40,41	19,42	2,855
8	10,39	31,52	74,24	33,16	2,025
10	5,124	20,27	62,57	25,14	2,833
11	5,862	22,16	67,65	27,38	2,787

Legenda: 1) Soro de leite (Padrão); 2) Gordura de coco : soro de leite. 13% valor proteico; 4) *Whey fat* comercial; 7) Gordura concentrada em pó; 8) Gordura de coco: (Soro de leite+MD+GA); 10) Gordura de coco : soro de leite, com adição de gordura concentrada em pó (1:1 m/m); 11) Gordura de coco : (Soro de leite+MD+GA) com adição de gordura concentrada em pó (1:1 m/m).

Fonte: elaborado pelo Autor (2019)

As partículas produzidas são caracterizadas como microesferas ou micropartículas, pois se enquadram na faixa de tamanho de 3 a 800 µm (LEE, 2014). A amostra 2 apresentou distribuição de tamanho de partícula mais ampla (maior valor de *span*), sendo as micropartículas menos homogêneas. A amostra 4, assim como na análise MEV, demonstrou tamanho e aglomeração maiores que as demais amostras. O valor de D [4,3] desempenha um papel significativo nas características físicas e na eficiência de encapsulação. Quanto maior a viscosidade da emulsão, gotículas maiores serão formadas durante a atomização, formando a rede ao redor do material do núcleo, o que aumenta a espessura do casco ao redor do núcleo, o que pode resultar na maior retenção do material do núcleo ativo (NAJAFI et al., 2011). As micropartículas produzidas apresentaram menor valor de *span*, que exibe menor distribuição de largura. O menor valor de *span* ajuda a alcançar melhor capacidade de fluxo em pós devido à homogeneidade de micropartículas.

O tamanho da partícula e a distribuição do tamanho das partículas influenciam nas propriedades de fluxo de um pó. A principal consideração é o grau de aglomeração das partículas, partículas pequenas aderem-se mais fortemente entre si do que partículas grandes, então pós finos apresentam uma maior tendência à aglomeração, que é atribuída a sua estrutura superficial irregular devido à presença das depressões, o que explica o valor elevado do *Span* nas amostras.

A determinação do tamanho das partículas é importante para alguns tipos de materiais, particularmente se estes são termossensíveis, pois partículas pequenas apresentam um maior coeficiente de transferência de massa e calor e um menor caminho difusional interno se comparadas a partículas grandes. Consequentemente, estas partículas apresentam inicialmente

um menor teor de umidade e secam mais rápido, estando assim mais passíveis de sofrerem degradação térmica, por isso é importante definir parâmetros no processo de secagem que garantam um tamanho de partícula adequado para o destino do produto desejado.

4.3.4 Solubilidade em água e Eficiência de Encapsulação (EE%)

A solubilidade em água é um fator importante, visto que possibilita a aplicação das micropartículas e sua estabilidade em diferentes produtos alimentícios (BENDER et al., 2016). Os valores de EE (%) quantificaram a presença de gordura nas superfícies das partículas e o grau em que a matriz de encapsulamento pode impedir a extração de gordura encapsulada (Tabela 7).

Tabela 7 – Solubilidade em água e Eficiência de encapsulação das micropartículas com diferentes agentes encapsulantes.

Amostra	Solubilidade em água (%)	EE (%)
1	77,62 ± 0,21 ^g	-
2	72,56 ± 0,36 ^f	41,20 ± 0,09 ^a
4	46,34 ± 0,26 ^b	91,43 ± 0,41 ^g
7	45,09 ± 0,10 ^a	89,08 ± 0,02 ^f
8	49,54 ± 0,6 ^d	67,19 ± 0,14 ^d
9	56,22 ± 0,67 ^e	55,65 ± 0,53 ^b
10	49,00 ± 0,01 ^{cd}	58,40 ± 0,36 ^c
11	48,46 ± 0,05 ^c	68,54 ± 0,02 ^e

Legenda: 1) Soro de leite (Padrão); 2) Gordura de coco : soro de leite. 13% valor proteico; 4) *Whey fat* comercial; 7) Gordura concentrada em pó; 8) Gordura de coco: (Soro de leite+MD+GA); 9) Gordura de coco: (Soro de leite+GA); 10) Gordura de coco : soro de leite, com adição de gordura concentrada em pó (1:1 m/m); 11) Gordura de coco : (Soro de leite+MD+GA) com adição de gordura concentrada em pó (1:1 m/m). Média±desvio padrão; Valores seguidos de letras iguais na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: elaborado pelo Autor (2019)

As micropartículas 1 e 2 apresentaram maior teor de solubilidade, devido à sua composição, evidenciando que a aplicação do soro de leite com elevado teor de lactose é limitado pela facilidade em solubilizar em água.

As amostras 8 e 10; 10 e 11 são significativamente iguais ($p \leq 0,5$). A composição desses polissacarídeos (MD e GA), como agentes encapsulantes, apresentaram maior resistência à solubilidade (KANG, et al., 2019)

Pelo fato das micropartículas serem armazenadas em forma de pó com teor de umidade inferior a 4 %, protegidas do ambiente externo e posteriormente serem adicionadas à ração

animal, também em base seca, a solubilidade não se torna um interferente na segurança e qualidade do produto durante seu *shelf life*.

As propriedades da emulsão (material de parede, viscosidade e tamanho de gotícula) desempenham um papel importante na eficiência de encapsulamento e na estabilidade do produto microencapsulado (CARNEIRO et al., 2013; JAFARI et al., 2008; KLINKERSON et al., 2006; RODEA GONZÁLEZ et al., 2012).

A EE (%) reflete o grau de retenção e proteção dos materiais centrais incorporados nos materiais da parede. O teor de óleo na superfície é um indicador de óleo não encapsulado e tem sido usado como um parâmetro crucial para determinar a qualidade das microcápsulas, porque é propenso a oxidação, resultando em aromas não desejáveis (BINSI et al., 2017). As amostras 4 e 7 apresentaram maior valor de EE (%), ambas já são comercializadas e não apresentam em suas formulações qual é o agente encapsulante utilizado. A combinação do soro de leite com a maltodextrina e goma arábica são uma alternativa para melhorar a EE (%) da gordura de coco, tendo em vista sua proteção durante o armazenamento e o custo-benefício da produção, já que estes polissacarídeos são vastamente utilizadas e apresentam baixo custo.

Os valores de EE (%) das amostras 8,9,10 e 11 foram superiores à amostra 2, devido à escolha e ao adequado índice de material de parede para microencapsulação, a menor eficiência da amostra 2 pode ser explicada pela composição da matriz encapsulante. Apesar dos cristais de lactose se agregarem à gordura durante à homogeneização eles não são capazes de protegê-la como o soro de leite com maior teor de proteínas (KARACA et al., 2013) e foi insuficiente para formar uma matriz densa, fortemente compactada em torno das gotículas de gordura dispersas.

Os resultados de eficiência de encapsulação obtidos foram inferiores ao encontrado por PREMI & SHARMA (2017) que também utilizaram o método de microencapsulação seguida de secagem por *Spray dryer*, utilizando soro de leite, MD e GA para proteção do óleo de baunilha. Eles obtiveram 73,43% de eficiência de encapsulação, utilizando uma maior proporção de maltodextrina e menor proporção de GA e soro de leite, este com elevado teor proteico (WPC), a qual difere das proporções utilizadas neste estudo, com maior proporção de soro de leite, sendo este, com baixo teor proteico e elevado teor de lactose.

4.3.5 Solubilidade em meio ácido

As amostras escolhidas (Tabela 8) para o teste da solubilidade em diferentes pHs foram baseadas em relação aos valores de solubilidade em água e EE (%).

Tabela 8 – Solubilidade em meio ácido das microcápsulas escolhidas a partir dos testes de encapsulação.

Amostra	Solubilidade pH 1,2	Solubilidade pH 4,8	Solubilidade pH 6,8
1	-	-	-
2	72,32 ± 0,01 ^b	21,82 ± 0,03 ^e	11,30 ± 0,01 ^d
4	68,34 ± 0,02 ^a	19,38 ± 0,03 ^d	8,62 ± 0,05 ^b
7	-	-	-
8	73,52 ± 0,01 ^b	15,52 ± 0,04 ^c	10,83 ± 0,02 ^c
9	-	-	-
10	73,12 ± 0,01 ^b	10,52 ± 0,01 ^a	2,74 ± 0,04 ^a
11	72,54 ± 0,04 ^b	12,72 ± 0,02 ^b	12,28 ± 0,01 ^e

Legenda: 1) Soro de leite (padrão); 2) Gordura de coco : soro de leite. 13% valor proteico; 4) *Whey fat* comercial; 7) Gordura concentrada em pó; 8) Gordura de coco: (Soro de leite+MD+GA); 9) Gordura de coco: (Soro de leite+GA); 10) Gordura de coco : soro de leite, com adição de gordura concentrada em pó (1:1 m/m); 11) Gordura de coco : (Soro de leite+MD+GA) com adição de gordura concentrada em pó (1:1 m/m). Média±desvio padrão; Valores seguidos de letras iguais na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: elaborado pelo Autor (2019)

As amostras definidas para a solubilidade em diferentes pHs, tendo como base os resultados de EE (%) apresentaram elevado teor de solubilidade no primeiro pH simulado (1,2). O esperado para a liberação controlada da gordura é que ela resistisse ao pH estomacal e solubilizasse apenas em meio tampão, tendo como base o teor de EE (%) analisado. porém não foi o que aconteceu.

Microcápsulas contendo proteína de soro de leite (> 60 %) como agente encapsulante podem ser classificadas como “liberação prolongada” devido a capacidade protetora sustentada durante toda a duração da digestão (OIDTMANN et al., 2012). As micropartículas elaboradas neste estudo, apresentam menor valor proteico (13%) e maior concentração de lactose, tornando-os interferentes na efetiva proteção da gordura.

A amostra 4 apresenta elevados valores de EE (91,43 %) e também de solubilidade em pH 1,2; 4,8 e 6,8; o que indica que o material de parede utilizado é capaz de proteger o agente ativo contra as condições do meio externo como a luz, temperatura, umidade, mas não possui a capacidade de liberar o agente ativo somente após a passagem pelo pH estomacal, o que seria extremamente importante para garantir a ação antimicrobiana da gordura de coco na biles do animal (SÁNCHEZ et al., 2010).

De acordo com os valores obtidos através desta análise, a digestibilidade *in vitro* não é indicada como teste complementar (BAUER et al., 2005), porque durante a secagem em estufa houve a completa solubilização das amostras em apenas uma hora de análise, indicando que a

digestibilidade também seria rápida, ocasionando a liberação do agente ativo rapidamente no organismo animal.

4.4 ESTABILIDADE DAS MICROPARTÍCULAS

4.4.1 Atividade de água

A atividade de água é considerada um dos fatores mais influentes na segurança e estabilidade dos alimentos e, juntamente com a temperatura, controla as propriedades físicas dos pós (BERISTAIN et al., 2003). As amostras apresentaram $A_w < 0,7\%$ (Tabela 9).

Tabela 9. Atividade de água das micropartículas a 25 °C.

Amostra	Atividade de água (A_w)
1	0,35
2	0,22
4	0,68
7	0,54
8	0,24
9	0,37
10	0,23
11	0,36

Legenda: 1) Soro de leite (Padrão); 2) Gordura de coco : soro de leite. 13% valor proteico; 4) *Whey fat* comercial; 7) Gordura concentrada em pó; 8) Gordura de coco: (Soro de leite+MD+GA); 9) Gordura de coco: (Soro de leite+GA); 10) Gordura de coco : soro de leite, com adição de gordura concentrada em pó (1:1 m/m); 11) Gordura de coco : (Soro de leite+MD+GA) com adição de gordura concentrada em pó (1:1 m/m).

Fonte: elaborado pelo Autor, 2019.

A influência da água nas propriedades físicas das microcápsulas de alimentos foi demonstrada a partir das interações entre as moléculas de água (ROSS et al., 2005). As amostras 4 e 7 (comerciais) eram mais pegajosas, formando agregados, é provável que os aglomerados de partículas tenham sido formados inicialmente por gordura não encapsulada que atuou como aglutinante, aumentando assim a coesividade. Além disso, o método de elaboração dessas micropartículas não é conhecido, o que pode justificar os valores de A_w mais elevados.

$A_w > 0,25$ e temperaturas próximas a 30 °C propiciam o crescimento de microrganismos (TEIXEIRA et al., 1995), neste caso as amostra 2 e 10 apresentam valores satisfatórios para a prevenção da deterioração das micropartículas.

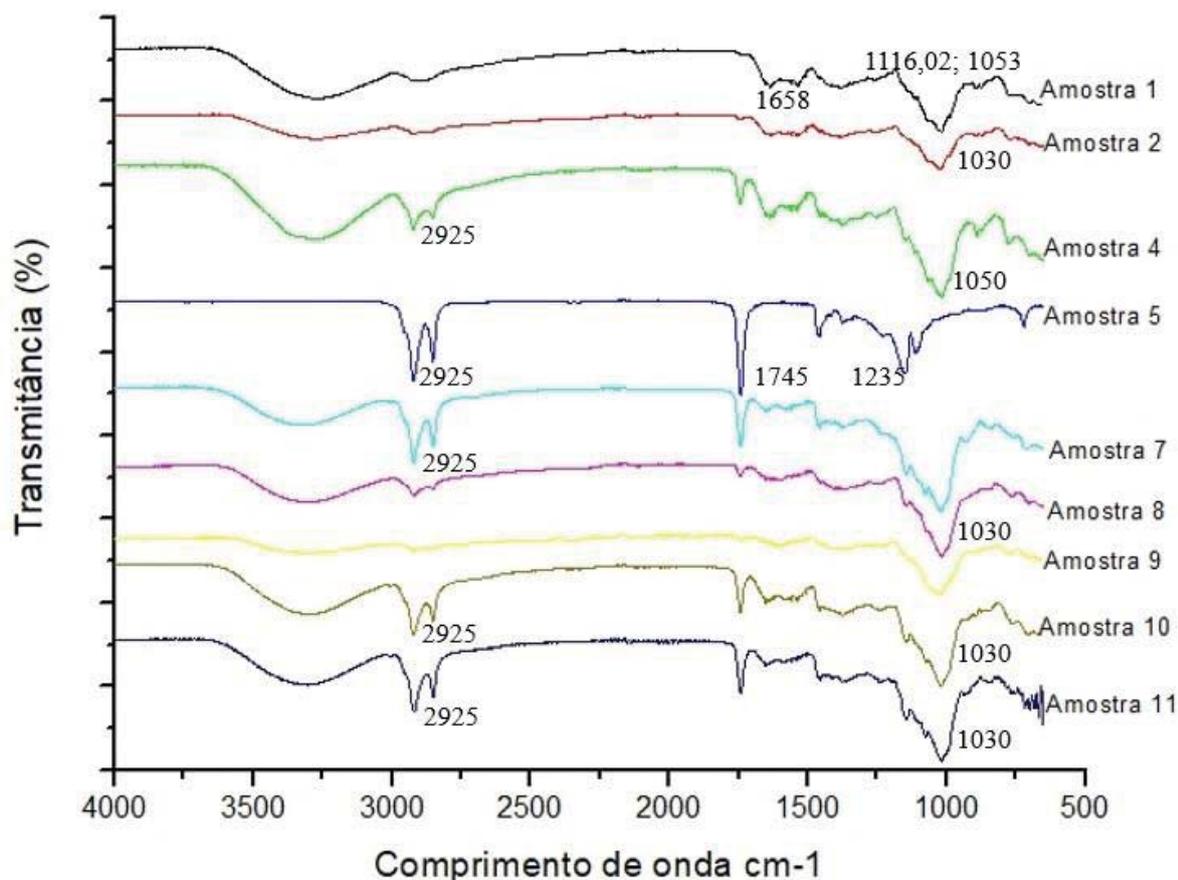
Diante disso, verifica-se que a atividade de água e o teor de umidade são parâmetros de controle fundamentais e necessários para obter boa estabilidade de armazenamento (SAMAPUNDO et al., 2007), embora o produto seja armazenado e comercializado embalado, protegido da luz, ar, umidade.

4.4.2 Avaliação por espectroscopia na região do infravermelho

A Figura 6 apresenta os resultados da avaliação por espectroscopia na região do infravermelho das amostras padrão e das micropartículas desenvolvidas neste estudo.

As banda observadas na faixa de 500 a 3000 cm^{-1} são atribuídas às vibrações dos constituintes das amostras (gordura, proteína, lactose.)

Figura 6 – Análise FTIR das micropartículas, agente ativo e agentes encapsulantes.



Legenda: 1) Soro de leite (Padrão); 2) Gordura de coco : soro de leite. 13% valor proteico; 4) *Whey fat* comercial; 5) Gordura de coco extra virgem; 7) Gordura concentrada em pó; 8) Gordura de coco: (Soro de leite+MD+GA); 9) Gordura de coco: (Soro de leite+GA); 10) Gordura de coco : soro de leite, com adição de gordura concentrada em pó (1:1 m/m); 11) Gordura de coco : (Soro de leite+MD+GA) com adição de gordura concentrada em pó (1:1 m/m).

Fonte: elaborado pelo Autor (2019)

Os picos entre 3500 e 3000 cm^{-1} que são atribuído aos trechos vibracionais associados a grupos hidroxila livres (MIAO et al., 2014), relacionados ao teor de umidade das amostras.

As amostras 1 e 2 apresentam picos de acordo com resultados obtidos anteriormente (GAIANI et al., 2011) e confirmam a presença de grupos funcionais característicos das estruturas proteicas. Bandas em 1162,43; 1116,02; 1023,20 e 937,02 cm^{-1} , estão associadas as proteínas e atribuídas a distensão da ligação C-O (VIGNOLLES et al., 2009) e os picos entre 1000 e 1053 cm^{-1} ligações C-OH (KUMAR; KRISHMA, 2015).

As amostras 4, 5, 7, 10 e 11 apresentam picos entre 2800 e 3100 cm^{-1} os quais são característicos de lipídeos (2850, 2925 e 3010 cm^{-1}) e indicam a ligação C-H (LEI et al., 2010). As bandas entre 1235 e 1050 cm^{-1} são atribuídas à combinação de modos de deformação de grupos metil (CH_3) e metileno (CH_2) nas estruturas lipídicas (TIMILSENA et al, 2019) e o pico de absorção de 1745 cm^{-1} é devido à presença de C=O e ligações C-C caracterizadas por grupos de ácidos graxos saturados (COSTA et al., 2016), os quais são bem salientes na amostra 5.

Os picos entre 800 e 1050 cm^{-1} da maioria das amostras são característicos também de vibrações de C-O dos carboidratos presentes nas micropartículas. Os picos 1030 a 1150 cm^{-1} são relacionados à ligação C-OC-CC-O-C similares as vibrações presentes na lactose (LAI et al., 2013). Com excessão da amostra 5, as posições e formas dos picos das principais bandas específicas no espectro são semelhantes entre si, apesar das intensidades serem diferentes. Portanto, pode-se afirmar que todas elas contém lactose - carboidratos, em sua formulação (ENAYATI et al., 2018).

As bandas em 1618 e 1675 cm^{-1} também são atribuídas à estruturas que apresentam alta porcentagem de proteínas que podem estar presentes no soro de leite (ZHANG; GOFF, 2004). Os picos amplos com intensidade média em torno de 1658 e 1544 cm^{-1} representam as vibrações da amida I e II das proteínas, as amostras 1 e 2 não possuem esse pico devido ao elevado teor de lactose e menor teor proteico do soro de leite.

Em comparação com as intensidades de pico para as amostras 8 e 9, que possuem em sua composição MD e GA, a intensidade dos picos em 2927, 2855 cm^{-1} diminuíram consideravelmente. Isso implica que polissacarídeos presentes nessas amostras podem participar de reações químicas durante a secagem por atomização, como ligação de hidrogênio e/ou esterificação entre MD e GA (KANG et al., 2019), propondo que houve a microencapsulação da gordura de coco.

A amostra 10 - o produto final elaborado, apresenta um perfil de vibrações análogas com a amostra 4, o que é um aspecto positivo pois espera-se que as micropartículas desenvolvidas apresentem similaridade com a amostra comercial, indicando que foi possível a

formação de uma matriz encapsulante com proteção da gordura de coco, mesmo utilizando um soro de leite com elevado teor de lactose. Microcápsulas do tipo matriz apresentam o núcleo disperso sobre o material encapsulante e/ou sob a superfície, o que justifica a presença tanto de soro de leite quanto de gordura na superfície das amostras (2, 8, 9, 10 e 11) elaboradas (ZUIDAM; NEDOVIC, 2010).

As amostras foram avaliadas no período de três meses, sendo realizada uma leitura a cada 30 dias. Como esperado, nenhuma banda de grupo hidróperóxido foi observada próximo de 3444 cm^{-1} , confirmando que nenhuma amostra sofreu oxidação (GUILLÉN; CABO, 2002). Não houve mudança na estrutura molecular, demonstrando que, de acordo com as bandas e suas respectivas identificações dos constituintes, os agentes encapsulantes foram capazes de formar uma camada protetora, ligando-se a gordura de coco e protegendo-a durante o tempo de armazenamento estabelecido.

4.4.3 Calorimetria exploratória diferencial e Termogravimetria

A calorimetria exploratória diferencial (DTA) permite avaliar a desnaturação térmica de constituintes, essa desnaturação induz a picos endotérmicos pronunciados, estes representam os pontos de máxima absorção de energia calorífica pelas amostras (CHRONAKIS, 2001). As amostras apresentaram eventos endotérmicos, como a gordura de coco é composta por ácidos graxos, pode-se associá-la ao ponto de fusão dos mesmos; o soro de leite, a maltodextrina e goma arábica são constituídos predominantemente de lactose, proteínas e carboidratos, associados a desnaturação.

Os gráficos da calorimetria calorimetria exploratória diferencial (DTA) estão apresentados no Apêndice C. . É possível observar duas regiões principais de mudanças de fase nas amostras (Tabela 10). Pode-se observar que a gordura de coco se decompõe 99% em temperaturas consideradas baixas para a análise térmica. A microencapsulação permite a proteção da gordura, elevando a temperatura de decomposição da mesma.

Tabela 10 - Calorimetria exploratória diferencial e termogravimetria da amostra padrão, agente ativo e micropartículas.

Amostra	Estágio	Ti (°C)	Tp (°C)	ΔH	% perda massa	% perda
				(J/g)	no evento	massa total
1	1	136,95	147,97	17,32	35,08	60
	2	198,45	197,09	110,06	9,41	
2	1	141,25	148,71	31,93	2,01	60
	2	186,82	195,69	89,74	30,85	
4	1	165	196,42	23,18	17,5	80
5	1	30,09	33,71	25,53	99,3	99,8
8	1	142,52	150,75	13,58	26,53	70
	2	189,97	212,27	65,2	25,54	
10	1	138,89	147,94	18,94	20,39	80
	2	174,07	199	38,83	42,29	

Legenda: **Ti**: Temperatura inicial de fusão; **Tp**: Temperatura do pico; ΔH : entalpia.

(1) soro de leite em pó (padrão), (2) Micropartículas de gordura de coco:soro de leite; (4) *Whey fat* comercial; (5) Gordura de coco; (8) Micropartículas de gordura de coco: Soro de leite + MD + GA; (10) Micropartículas de gordura de coco:soro de leite com adição de gordura concentrada em pó.

Fonte: elaborado pelo Autor (2019).

A energia envolvida e as temperaturas de mudança de fase geram informações em relação as características físicas dos compostos. A degradação térmica de lipídeos depende do tipo de ácido graxo presente na amostra, as variações de massa estão relacionadas ao processo de degradação térmica que corresponde à degradação dos ácidos graxos (SANTOS et al., 2002). A amostra 5 apresentou Tp inferior a 100°C, essa temperatura é referente a perda de umidade presente nas demais amostras (COMUNIAN et al, 2016).

A entalpia de fusão das amostras 4 e 5 foram menores quando comparadas a amostra padrão 1, esta redução da entalpia de fusão ocorre devido à diminuição da porção cristalina das amostras contendo gordura de coco, a presença da gordura desorganiza a estrutura cristalina, necessitando assim de menor energia para ocorrer a fusão da amostra (ROJAS, 2018).

As amostras 1, 2, 8 e 10 apresentam no primeiro estágio, um pico inicial em torno de 130 °C a 140 °C que corresponde as perdas de massa de 60%, 60% 70% e 80%, respectivamente, devido a decomposição térmica dos carboidratos e proteínas (CHEN et al., 2014). Acima de 190 °C, caracterizado como segundo estágio, os componentes das amostras,

tais como, carboidratos, proteínas e outros componentes menores, que são decompostos e liberam substâncias voláteis (RIZZO et al., 2013), apresentando perda de massa.

A amostra 1 possui a primeira mudança de fase em 147,97 °C, com $\Delta H = 17,32$ J/g que pode ser atribuído às proteínas presentes no soro de leite e o segundo pico em 197,09 °C, com $\Delta H = 110,00$ J/g, caracterizando o ponto de fusão da lactose que é aproximadamente em 202,8 °C (SCHAAFSMA, 2008).

A amostra 4 apresenta T_i e T_p superiores às demais amostras, o que indica uma maior proteção do agente ativo. A temperatura de fusão da amostra 5 foi 30,09 °C e com perda total de 99,8 % de amostra. Ao utilizar o soro de leite como agente protetor, a temperatura de desnaturação passou a ser 148,71 °C, demonstrando que os agentes encapsulantes definidos foram capazes de proteger a gordura contra o dano térmico.

Um fator importante para garantir a estabilidade do produto ao longo do *shelf life* é o armazenamento. Neste caso, as amostras serão armazenadas em embalagens à vácuo, protegidas da luz e mesmo com o transporte, não atingirão a temperatura inicial de degradação prevista pela análise.

De acordo com as análises realizadas, principalmente com a análise térmica, constata-se que é possível microencapsular a gordura de coco utilizando soro de leite com elevado teor de lactose e adicionar gordura concentrada em pó para aumentar o valor lipídico, sem alterar as características do produto, proporcionando maior proteção contra o dano térmico. No entanto, ainda são necessários estudos afim de aumentar a EE (%) com a adição de outros agentes encapsulantes de baixo custo, como a maltodextrina, tornando-o compatível ao produto já comercializado.

5 CONCLUSÕES

A gordura de coco é composta principalmente por ácidos graxos saturados, destacando-se o ácido láurico (C 12:0), que garante a estabilidade e resistência à oxidação. Porém, a gordura de coco é composta também por ácidos graxos insaturados e é termicamente instável, o que compromete suas características sensoriais e justifica a necessidade da microencapsulação para ser adicionada à ração animal.

Os parâmetros utilizados na homogeneização – pressão de 200 bar, da gordura de coco com o soro de leite, maltodextrina e goma arábica foi eficiente para a redução do tamanho dos cristais de lactose auxiliando no rompimento de partículas suspensas em tamanhos menores e na consistência da mistura.

Os parâmetros de secagem estabelecidos resultaram em micropartículas íntegras, sem rachaduras, com teor de umidade inferior a 4% e atividade de água $A_w < 0,25$ %, valores desejáveis para pós microencapsulados. O tamanho das cápsulas produzidas os caracteriza como micropartículas e/ou microesferas, pois se enquadram na faixa de tamanho de 3 a 800 μm , sendo adequadas para aplicação em produtos alimentícios, tanto na alimentação humana quanto animal. A estabilidade térmica da gordura de coco aumentou drasticamente com a adição dos agentes encapsulantes (33,71 °C para 148,71 °C).

Diante disso, este estudo mostrou que o processo de microencapsulação seguido de secagem por *Spray dryer* permitiu a proteção da gordura de coco, a amostra 10 foi definida como produto final e é semelhante ao *whey fat* já comercializado. A adição da maltodextrina e goma arábica é uma alternativa para aumentar os valores de solubilidade em água e EE (%) das micropartículas. As micropartículas serão armazenadas protegidas da luz, ar, umidade, garantindo a proteção, qualidade e estabilidade das mesmas durante o armazenamento. A presente pesquisa também comprovou que é possível utilizar o soro de leite com elevado teor de lactose (75%) para desenvolver novos produtos ou agregar valor aos já existentes. Além disso, o produto final apresenta características sensoriais importantes, como aroma e odor adocicados, o que estimula a alimentação dos suínos no período pós desmame.

REFERÊNCIAS

- ADAMIEC, Janusz; KALEMBA, Danuta. Analysis of microencapsulation ability of essential oils during spray drying. **Drying Technology**, v. 24, n. 9, p. 1127-1132, 2006.
- AGGARWALL, P.; DOLLIMORE, D. The effect of chemical modification on starch studied using thermal analysis, **Thermochimica Acta**, v. 324, p. 1- 8, 1998.
- AGHBASHLO, M.; MOBILI, H.; MADADLOU, A.; RAFIEE, S. Influence of wall material and inlet drying air temperature on the microencapsulation of fish oil by spray drying. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n. 6, p. 1561-1569, 2013.
- AGUIAR, J.; ESTEVINHO, B, N.; SANTOS, L. Microencapsulation of natural antioxidants for food application - the specific case of coffee antioxidants - a review, **Food Science Technology**, v. 58, p;21-39, 2016.
- AKHTAR, M.; DICKINSON, E. Whey protein–maltodextrin conjugates as emulsifying agents: An alternative to gum arabic. **Food Hydrocolloids**, v. 21, n. 4, p. 607-616, 2007.
- ALMEIDA, K. N.; ALVIM, T. C.; SOUZA, A. R. M.; LACERDA, G. E.; ALVIM, F. A. L. S.; ALVIM, J. C. Hidrólise enzimática da lactose de permeado de soro. **Revista Instituto Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 70, n. 2, p. 55-63, 2015.
- ALVES, M.P.; MOREIRA, R.O.; JUNIOR, P.H. R.; MARTINS, M.C.F.; PERRONE, I.T.; CARVALHO, A.F. Soro de leite: tecnologias para o processamento de coprodutos. **Revista Instituto Laticínios Cândido Tostes**, v. 69, n. 3, p. 212-226, 2014.
- AMERICAN OIL CHEMISTS´ SOCIETY. **Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists´ Society**. AOCS press, 1990.
- ARAÚJO, J.M.A. **Química de Alimentos: Teoria e Prática**. 5. ed. Minas Gerais: Editora UFV, 2011, p. 244–264.
- ARSLAN, S.; ERBAS, M.; TONTUL, I.; TOPUZ, A. Microencapsulation of the probiotic *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* with different wall materials by spray drying. **Food Science and Technology**, v.63, p. 685-690, 2015.
- ASSUNÇÃO, M. L.; FERREIRA, H. S.; SANTOS, A. F.; CABRAL, C. R.; FLORENCIO, T. M. M. T. Effects of Dietary Coconut Oil on the Biochemical and Anthropometric Profiles of Women Presenting Abdominal Obesity. **American Oil Chemists´ Society**, v. 44, p. 593-601, 2009.
- AUGUSTIN, M. A.; SANGUANSRI, L. Polyunsaturated Fatty Acids: Delivery, Innovation and Incorporation Into Foods. **Australian Institute of Food Science and Technology**, v. 55, n. 5, p. 294-296, 2003.
- AUGUSTIN, M.A.; SANGUANSRI, L.; MARGETTS, C.; YOUNG, B. Microencapsulation of food ingredients: A review. **Australian Institute of Food Science and Technology**, v.56, n. 6, p. 220-223, 2001.

BAKOWSKA-BARCZAK, A. M.; KOŁODZIEJCZYK, P. P. Black currant polyphenols: Their storage stability and microencapsulation. **Industrial Crops and Products**, v. 34, n. 2, p. 1301–1309, 2011.

BAUER, E.; JAKOB, S.; MOSENTHIN, R. Principles of physiology of lipid digestion. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 18, n. 2, p. 282-295, 2005.

BENDER, L. E.; GUARIENTI, C.; PRIGOL, A. C.; BERTOLIN, T. E. Solubilidade de microcápsulas de *Spirulina* produzidas pela técnica de *Spray drying* com diferentes agentes encapsulantes. **III Semana do conhecimento**, 2016. Disponível em: <<http://semanadoconhecimento.upf.br/download/anais-2016/ciencias-agrarias/Leticia-Eduarda-Bender-SOLUBILIDADE.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2018.

BERTOL, T. M.; LUDKE, J. V.; MORES, N. Efeito de diferentes fontes proteicas sobre desempenho, composição corporal e morfologia intestinal em leitões. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.6, p.1735-1742, 2000.

BETZ, M.; STEINER, B.; SCHANTZ, M.; OIDTMANN, J.; MÄDER, K.; RICHLING, E.; KULOZIK, U. Antioxidant capacity of bilberry extract microencapsulated in whey protein hydrogels. **Food Research International**, v. 47, n. 1, p. 51-57, 2012.

BINSI, P. K.; NAYAK, N.; SARKAR, P. C.; JEYAKUMARI, A.; ASHRAF, P. M.; NINAN, G.; RAVISHANKAR, C. N. Structural and oxidative stabilization of spray dried fish oil microencapsulates with gum arabic and sage polyphenols: Characterization and release kinetics. **Food Chemistry**, v. 219, p. 158-168, 2017.

BŁASZCZAK, W; SIGNORELLI, M; GÓRECKI, A.R. Retention of aroma compounds by corn, sorghum and amaranth starches. **Food Research International**, v. 54, p. 338-344, 2013.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of biochemistry and physiology**, v. 37, n. 8, p. 911-917, 1959.

BORNEO, R.; KOCER, D.; GHAI, G.; TEPPER, B.J.; KARWE, M.V. Stability and Consumer Acceptance of Long-Chain Omega-3 Fatty Acids (Eicosapentaenoic Acid, 20: 5, n-3 and Docosahexaenoic Acid, 22: 6, n-3) in Cream-Filled Sandwich Cookies. **Journal of Food Science**, v. 72, n. 1, 2007.

BOTELHO, G.; CANAS, S.; LAMEIRAS, J. Development of phenolic compounds encapsulation techniques as a major challenge for food industry and for health and nutrition fields. **Academic Press**, p. 535–586, 2017.

BOYEN, F.; HAESEBROUCK, F., MAES, D., VAN IMMERSEEL, F., DUCATELLE, R., PASMANS, F. Non-typhoidal Salmonella infections in pigs: a closer look at epidemiology, pathogenesis and control. **Veterinary microbiology**, v. 130, n. 1-2, p. 1-19, 2008.

BRITO, A.B. **Estudo da cristalização de lactose em diferentes solventes**. Tese (Pós-graduação em Engenharia Química). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos/SP,

BRUININX, E.M.A.M.; BINNENDIJK, G.P.; VAN DER, C.M.C. Effect of creep feed consumption on individual feed intake characteristics and performance of group-housed weanling pigs. **Animal Science**, v.80, p. 1413-1418, 2002.

- BRUSTOLINNI, P.C.; SILVA, F.C.O.; DONZELE, J.L.; VELOSO, J.A.F.; FONTES, D.O.; KILL, J.L. Efeitos de fontes lipídicas e níveis de energia digestível sobre o desempenho produtivo e reprodutivo de suínos. **Revista Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.56, n.4, p.511-521, 2004.
- BRYLA, A.; LEWANDOWICZ, G.; JUZWA, W. Encapsulamento do extrato de sabugueiro em nanopartículas fosfolipídicas. **Journal Food Engineering**, v. 167, p. 189 -95, 2015.
- BULE, M. V.; SINGHAL, R. S.; KENNEDY, J.F. Microencapsulation of ubiquinone-10 in carbohydrate matrices for improved stability. **Carbohydrate Polymers**, v. 82, n. 4, p. 1290-1296, 2010.
- BUREY, P.; BHANDARI, B. R.; HOWES, T.; GIDLEY, M. Gel particles from spray-dried disordered polysaccharides. **Carbohydrate Polymers**, v. 76, n. 2, p. 206–213, 2009.
- BURGAIN, J.; ZEIN, R. E.; SCHER, J.; PETIT, J.; FRANCIUS, G.; GAIANI, C. Local modifications of the surface of serum whey protein powder during storage at high temperature. **Food Engineering**, v.178, p.39-46, 2016.
- ÇAKIR-FULLER, E. Enhanced heat stability of high protein emulsion systems provided by microparticulated whey proteins. **Food Hydrocolloids**, v. 47, p.41-50, 2015.
- CALISKAN, G.; DIRIM, S. N. The effects of the different drying conditions and the amounts of maltodextrin addition during spray drying of sumac extract. **Food and Bioproducts Processing**, v. 91, n. 4, p. 539-548, 2013.
- CAMPOS, A.A; GOMES, J.M; SILVA, E.K; AZEVEDO, V.M; YOSHIDA, M.I; BORGES, S.V. Physical and thermal properties of oregano (*Origanum vulgare* L.) essential oil microparticles. **Journal of Food Process Engineering**. v. 38, p. 1-10, 2015.
- CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, J. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 5, n. 4, p. 420–428, 2005.
- CARMINATTI, C. A. **Ensaio de hidrólise enzimática da lactose em reator a membrana utilizada Beta-galactosidase *Kluyveromyces lactis***. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 2001.
- CARNEIRO, H.C.F.; TONON R.V.; GROSSO, C.R.F.; HUBINGER, M.D. Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials. **Food Process Engineering**, v. 115, n. 4, p. 443-451, 2013.
- CHAVES, K. F.; CALLEGARO, E. D.; SILVA, V. R. O. Utilização do soro de leite nas indústrias de laticínios da região de Rio Pomba-MG. In: CONGRESSO NACIONAL DE LATICÍNIOS, 27., 2010, Juiz de Fora. **Anais do Congresso Nacional de Laticínios**. Juiz de Fora: EPAMIG/ ILCT, 2010.
- CHE MAN, Y. B.; MARINA, A. M. Virgin coconut oil: emerging functional food oil. **Food Science Technology**, v. 20, p. 481e487, 2009.

CHEN, E.; ELEVITCH, C. R. Cocos nucifera (coconut), ver. 2.1. In: C. R. Elevitch (Ed.), Species profiles for pacific island agroforestry, **Holualoa Hawaii: Permanent Agriculture Resources**, p. 1-27, 2006

CHEN, J.; DAVIS, S. S. The release of diazepam from poly (hydroxybutyrate-cohydroxyvalerate) microspheres. **Journal of Microencapsulation**, v. 19, n. 2, p. 191-201, 2002.

CHUNG, C. H.; SANGUANSRI, L.; AUGUSTIN, M. A. In vitro lipolysis of fish oil microcapsules containing protein and resistant starch. **Food Chemistry**, v.124, p. 1480e1489, 2011.

COMUNIAN, T. A.; FAVARO-TRINDADE, C. S. Microencapsulation using biopolymers as an alternative to produce food enhanced with phytosterols and omega-3 fatty acids: A review. **Food Hydrocolloids**. v. 61, p. 442-457, 2016.

COPPOLA, L.E.; MOLITOR, M.S.; RANKIN, S.A.; LUCEY, J.A. Comparação de concentrados de proteína de soro de leite com vários níveis de caseína. **Journal of Dairy Technology**, v. 67, n. 4, p. 467 – 473, 2014.

COSTA, C. S.; FONSECA, A. C.; MONIZ, J.; GODINHO, M.; SERRA, A. C.; COELHO, J. F. Soybean and coconut oil based unsaturated polyester resins: Thermomechanical characterization. **Industrial Crops and Products**, v. 85, p. 403-411, 2016.

DE WIT, J.N. Lecturer's Handbook on Whey and Whey Products European. **Whey Products Association**, Belgium, 2001.

DE BARROS FERNANDES, R. V.; BOTREL, D. A.; SILVA, E. K.; BORGES, S. V.; DE OLIVEIRA, C. R.; YOSHIDA, M. I.; DE PAULA, R. C. Cashew gum and inulin: New alternative for ginger essential oil microencapsulation. **Carbohydrate polymers**, v. 153, p. 133-142, 2016.

DEBMANDAL, M.; MANDAL, S. Coconut (Cocos nucifera L.: Areaceae): In health promotion and disease prevention. **Journal of Tropical Medicine**, p. 241-247, 2011.

DESAI, K.G.H.; PARK, H.J. Encapsulamento de vitamina C em tripolifosfato reticulado microesferas de quitosana por secagem por pulverização, **Journal Microencapsulation**, v. 22, n.2, p. 179-192, 2005.

DIMA, C.; COTARLET, M.; ALEXE, P.; DIMA, S. Microencapsulation of essential oil of pimento (*Pimenta dioica* (L) Merr.) by chitosan/kcarrageenan complex coacervation method. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 22, p. 203-211, 2014.

DRIDI, W., ESSAFI, W., GARGOURI, M., LEAL CALDERON, F.; CANSSELL, M. Influence of formulation on the oxidative stability in water-in-oil emulsions. **Food Chemistry**, v. 202, p. 205–211, 2016.

DUBEY, R.; SHAMI, T. C.; RAO, K. U. B. Microencapsulation Technology and Applications. **Defence Science Journal**, v. 59, p. 82–95, 2009.

- ENAYATI, M.; GONG, Y.; GODDARD, J. M.; ABBASPOURRAD, A. Synthesis and characterization of lactose fatty acid ester biosurfactants using free and immobilized lipases in organic solvents. **Food Chemistry**, v. 266, p. 508-513, 2018.
- ENCINA, C.; VERGARA, C.; GIMÉNEZ, B.; OYARZÚN-AMPUERO, F.; ROBERT, P. Conventional spray-drying and future trends for the microencapsulation of fish oil. **Food Science & Technology**, v. 56, p. 46-60, 2016.
- FANG, Z.; BHANDARI, B. Encapsulation of polyphenols – a review. **Food Science Technology**, v. 21, n. 10, p. 510–523, 2010.
- FANGER, G.O. Microencapsulation: A brief history and introduction. **Microencapsulation Food**, p. 1-20, 1974.
- FAVARO-TRINDADE, C. S.; PINHO, S. C. DE; ROCHA, G. A. **Review: Microencapsulation of food ingredients**. Research Gate, v. 11, n. 2, 2008.
- FAVARO-TRINDADE, C. S.; SANTANA, A. S.; MONTERREY-QUINTERO, E. S.; TRINDADE, M. A.; NETTO, F. M. The use of spray drying technology to reduce bitter taste of casein hydrolysate. **Food Hydrocolloids**, v. 24, n. 4, p. 336-340, 2010.
- FENG, S., SHAN, W.; KOJIMA, M. Protease treatment, glucose addition and saccharification of adzuki beans effects on the radical-scavenging properties of soymilk. **Journal of Food and Nutrition Research**, 3, p. 613 e 619, 2015.
- FERNANDES, L.P; TURATTI, I.C; LOPES, N.P; FERREIRA, J.C; CANDIDO, R.C; OLIVEIRA, W.P. Volatile retention and antifungal properties of spray-dried microparticles of lippia sidoides essential oil. **Drying Technology**, v. 26, p. 1534-1542, 2008.
- FLORES, F.P.; SINGH, R.K.; KONG, F.B. Physical and storage properties of spray-dried blueberry bagasse extract with whey protein isolates as wall material. **Journal Food Engineering**, v. 137, p. 1 – 6, 2014.
- FRASCARELI, E. C.; SILVA, V. M.; TONON, R. V.; HUBINGER, M. D. Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray drying. **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, p. 413-424, 2012.
- GAIOTTO, J. B. **Óleo de Soja, Óleo Ácido de Soja e Sebo Bovino como Fontes de Gordura em Rações para Frangos de Corte**. Piracicaba, SP, 2000. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2000.
- GALLEGOS-INFANTE, J.A.; ROCHA-GUZMÁN, N.E.; GONZÁLEZ-LAREDO, R.F.; MEDINA-TORRES, L.; GOMEZ-ALDAPA, C.A.; OCHOA-MARTÍNEZ, L.A.; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, C.E.; HERNÁNDEZ-SANTOS, B.; RODRÍGUEZ-RAMÍREZ, J. Physicochemical properties and antioxidant capacity of oak (*Quercus resinosa*) leaf infusions encapsulated by spray-drying. **Food Bioscience**, v. 2, p. 31-38, 2013.
- GANJU, S.; GOGATE, P.R. A review on approaches for efficient recovery of whey proteins from dairy industry effluents. **Food Engineering**, v. 215, p. 84-96, 2017.
- GARRIDO, B. C.; SOUZA, G. H.; LOURENÇO, D. C.; FASCIOTTI, M. Proteomics in quality control: whey protein-based supplements. **Journal of proteomics**, v. 147, p. 48-55, 2016.

GEARY, T.M.; BROOKS, P.H.; BEAL, J.D.; CAMPBELL, A. Microbiological effect of performance on weaned pig and diet of feeding a liquid diet acidified to pH 4 with lactic derivative or by fermentation with *Pediococcus acidilactici*. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.79, p.633-640, 1999.

GHARSALLAOUI, A.; ROUDAUT, G.; CHAMBIN, O.; VOILLEY, A.; SAUREL, R. Applications of Spray-drying in Microencapsulation of Food Ingredients: An overview. **Food Research International**, v. 40, p. 1107-1121, 2007.

GIBBS, B. F.; KERMASHA, S.; ALLI, I.; MULLIGAN, C. N. Encapsulation in the food industry: a review. **Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 50, n. 3, p. 213–224, 1999.

GIRON, D. Applications of thermal analysis and coupled techniques in pharmaceutical industry. **Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 68, p. 335-357, 2002.

GIRO-PALOMA, J.; MARTÍNEZ, M.; CABEZA, L. F.; FERNÁNDEZ, A. I. Types, methods, techniques, and applications for microencapsulated phase change materials (MPCM): A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 53, p. 1059–1075, 2016.

GOMES, G. V. L. **Produção e caracterização microestrutural de sistemas lipídicos micro e naoparticulados utilizados na encapsulação de beta-caroteno**. Dissertação (Mestrado em Ciências), Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga/SP, 2011.

GOUIN, S. Microencapsulation: Industrial appraisal of existing technologies and trends. **Food Science and Technology**, v. 15, p. 330-347, 2004.

GUILLÉN, María D.; CABO, Nerea. Fourier transform infrared spectra data versus peroxide and anisidine values to determine oxidative stability of edible oils. **Food Chemistry**, v. 77, n. 4, p. 503-510, 2002.

HAN, Y. K.; HWANG, I.H.; THACKER, P.A. Use of a micro-encapsulated eucalyptus medium chain fatty acid product as an alternative to zinc oxide and antibiotics for weaned pigs. **Journal of Swine Health and Production**, v. 19, p. 34-43, 2011.

HARAGUCHI, F. K.; ABREU, W.C.; PAULA, H. Whey proteins: composition, nutritional properties, sports applications and benefits to human health. **Brazilian Journal of Nutrition**, v. 19, n. 4, p. 479-88, 2006.

HAUPTLI, L.; LOVATTO, P. A.; SILVA, J. H. S.; GUAREZ GARCIA, G.; SOUZA B.; OLIVEIRA, J. L. Níveis de soro de leite integral na dieta de leitões na creche. **Revista Ciência Rural**, v. 35, n. 5, 2005.

HEE, Y. Y.; TAN, C. P.; RAHMAN, R. A.; NORANIZAN, M.; SMITH JR, R. L.; CHONG, G. H. Production of virgin coconut oil microcapsules from oil-in-water emulsion with supercritical carbon dioxide spray drying. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 130, p. 118-124, 2017.

HOGAN, S.A.; MCNAMEE, B.F.; O'RIORDAN, E.D.; O'SULLIVAN, M. Emulsification and microencapsulation properties of sodium caseinate/carbohydrate blends. **International Dairy Journal**, v. 11, p. 137-144, 2001.

- HU, M.; YAN, L.; DECKER, E.A.; McCLEMNETS, J. Role of calcium and calcium-binding agents on the lipase digestibility of emulsified lipids using an in vitro digestion model. **Food Hydrocolloids**, v. 24, n. 8, p. 719–725, 1 nov. 2010.
- HUR, S. J.; DECKER, E. A.; MCCLEMENTS, D.J. Influence of initial emulsifier type on microstructural changes occurring in emulsified lipids during in vitro digestion. **Food Chemistry**, v. 114, n. 1, p. 253-262, 2009.
- ISLAM, M.I.U.; LANGRISH, T.A.G. An investigation into lactose crystallization under high temperature conditions during spray drying. **Food Research International**, v.43, p. 46-56, 2010.
- JAFARI, S. M.; ASSADPOOR, E.; HE, Y.; BHANDARI, B. Encapsulation efficiency of food flavours and oils during spray drying. **Drying Technology**, v. 26, n.7, p. 816-835, 2008.
- JAGTAP, S. B.; MOHAN, M. S.; SHUKLA, P. G. Improved performance of microcapsules (with polymer nanocomposite wall: Preparation and characterization. **Polymer**, v. 83, p. 27–33, 2016.
- JELÉN, P. Dried whey, whey proteins, lactose and lactose derivative products. **Dairy Powders and Concentrated Products**, 2009.
- Jl, I.; SEETHARAMAN, K.; WHITE, P. J. Optimizing a small-scale corn starch extraction method for use in laboratory. **Cereal Chemistry**, v.1, n. 81, p. 55-58, 2004.
- KANG, Y. R.; LEE, Y. K.; KIM, Y. J.; CHANG, Y. H. Characterization and storage stability of chlorophylls microencapsulated in different combination of gum Arabic and maltodextrin. **Food Chemistry**, v. 272, p. 337-346, 2019.
- KELLY, G. M.; O'MAHONY, J. A.; KELLY, A. L.; O'CALLAGHAN, D. J. Physical characteristics of spray-dried dairy powders containing different vegetable oils. **Food Engineering**, v. 122, p.122e129, 2014.
- KHADIRAN, T.; HUSSEIN, M. Z.; ZAINAL, Z.; RUSLI, R. Encapsulation techniques for organic phase change materials as thermal energy storage medium: A review. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 143, p. 78–98, 2015.
- KHAFIPOUR, E.; MUNYAKA, P.M.; NYACHOTI, C.M.; KRAUSE, D.O.; RODRIGUEZ-LECOMPTE, J.C. Effect of crowding stress and *Escherichia coli* K88+ challenge in nursery pigs supplemented with anti-*Escherichia coli* K88+ probiotics. **Animal Science**, v. 92, p. 2017-2029, 2014.
- KHORASANI, S. N.; ATAIEI, S.; NEISIANY, R. E. Microencapsulation of a coconut oil-based alkyd resin into poly (melamine–urea–formaldehyde) as shell for self-healing purposes. **Progress in Organic Coatings**, v. 111, p. 99-106, 2017.
- KINDERLERER, Judith L. Degradation of the lauric acid oils. **International biodeterioration e biodegradation**, v. 33, n. 4, p. 345-354, 1994.
- KINSELLA, R.; MAHER, T.; CLEGG, M. E. Coconut oil has less satiating properties than medium chain triglyceride oil. **Physiology & behavior**, v. 179, p. 422-426, 2017.

KLINKERSON, U.; SOPHANODORA, P.; CHINACHOTI, P.; DECKER, E.A.; MCCLEMENTS, D.J.; Characterization of spray-dried tuna oil emulsified in two-layered interfacial membranes prepared using electrostatic layer-by-layer deposition. **Food Research International**, v. 39, n. 4, p. 449-457, 2006.

KOLAKAWSKA, A.; BARTOSZ, G. Oxidation in food components: Na introduction. In G. Bartosz (Ed.), **Food oxidants and antioxidants chemical, biological, and functional properties**. Boca Raton: CRC Press Taylor; Francis Group, 2014.

KOLANOWSKI, W.; JAWORSKA, D.; LAUFENBERG, G.; WEIBRODT, J. Evaluation of sensory quality of instant foods fortified with omega-3 PUFA by addition of fish oil powder. **European Food Research and Technology**, v. 225, n. 5-6, p. 715-721, 2007.

KOO, S.Y.; CHA, K.H.; SONG, D.; CHUNG, D.; PAN, C. Microencapsulation of peppermint oil in an alginate-pectin matrix using a coaxial electrospray System. **Food Science Technology**, v. 49, n. 3, p. 733-739, 2014.

LAI, C. M.; ROZMAN, H. D.; TAY, G.S. Palm oil-based unsaturated polyester: Activation energy and swelling properties. **Polymer Engineering & Science**, v. 53, n. 6, p. 1138-1145, 2013.

LALLES, J.P.; BOSI, P.; JANCZYK, P.; KOOPMANS, S.J.; TORRALLARDONA, D. Impact of bioactive substances on the gastrointestinal tract and performance of weaned piglets: a review. **Animal Science**, v.12, p. 1625-1643, 2009.

LAURIDSEN, C.; CHRISTENSEN, T.B.; HALEKOH, U. et al. Alternative fat sources to animal fat for pigs. **Lipid Technology**, v. 19, p.156-159. 2007.

LAWSON, H. Aceites y grasas alimentarios. **Revista Tecnología, utilización y nutrición**, v. 3, n. 6, p. 207-218, 1999.

LEI, Y., ZHOU, Q., ZHANG, Y. L., CHEN, J. B., SUN, S. Q., & NODA, I. Analysis of crystallized lactose in milk powder by Fourier-transform infrared spectroscopy combined with two-dimensional correlation infrared spectroscopy. **Journal of Molecular Structure**, v. 974, n. 1-3, p. 88-93, 2010.

LESMES, U.; MCCLEMENTS, D.J. Structure-function relationship to guide rational design and manufacturing of particulate food delivery systems. **Food Science. Technology**, v. 20, n.10, p. 448-457, 2009.

LI, B.-Z.; WANG, L.-J.; LI, D.; BHANDARI, B.; LI, S.-J.; LAN, Y.; CHEN, X. D.; MAO, Z.-H. Fabrication of starch-based microparticles by an emulsification-crosslinking method. **Journal of Food Engineering**, v. 92, n. 3, p. 250–254, 2009.

LI, P.; RU, Y.; HAN, X.; XUE, L.; ZHANG H. Effects of adding essential oil to the diet of weaned pigs on performance, nutrient utilization, immune response and intestinal health Asian-Australas. **Animal Science**, v. 25, n.11, p. 1617-1626, 2012.

LI, S.; WEI, Y.; FANG, Y.; ZHANG, W.; ZHANG, B. DTA study on the thermal properties of soybean protein isolates/corn starch mixture. **Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 115, p. 1633-1638, 2014.

- LI, X.; KONG, W.; SHI, W. A combination of chemometrics methods and GC–MS for the classification of edible vegetable oils. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 155, p. 145-150, 2016.
- LIU, S.; LOW, N.H.; NICKERSON, M.T. Entrapment of flaxseed oil within gelatin-gum Arabic capsules. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 87, n. 7, p. 809-815, 2010.
- LUCHTENBERG, R. Caracterização e atividade antimicrobiana de micropartículas carregadas de ácidos graxos de cadeia curta obtidas por spray drying. **Revista PubVet**, v. 8, n. 02, p. 84-229, 2014.
- LUTZ, A. **Normas analíticas do Instituto Adolf Lutz: métodos químicos para análise de alimentos**. São Paulo, v. 3, p. 533, 1985.
- MACHADO, G. C.; CHAVES, J.B.P.; ANTONIASSI, R. Composição em ácidos graxos e caracterização física e química de óleos hidrogenados de coco babaçu. **Revista Ceres**, v.53, p.308 e 463, 2006.
- MAFART, P. Processos físicos de conservação. In: BARBOSA, S. J. **Qualidade de suco em pó de mistura de frutas obtido por spray drying**. Dissertação (Mestrado em Produção vegetal no Semiárido). Universidade Federal de Monte Carlos. Janúba/MG, 2010.
- MARESCA, D., DE PRISCO, A., LA STORIA, A., CIRILLO, T., ESPOSITO, F., MAURIELLO, G. Mycroencapsulation of nisin in alginate beads by vibratory technology: preliminary investigation. **LWT. Food Science and Technology**, v. 66, p. 436-443, 2016.
- MARTEN, B.; PFEUFFER, M.; SCHREZENMEIER, J. Medium-chain triglycerides. **International Dairy Journal**, v. 16, p. 1374-1382, 2006.
- MASCARENHAS, A. G.; DONZELE, J. Lopes.; OLIVEIRA, R. F. M.; SANTOS, A. D. F.; NEVES, M. T. D. Fontes de lipídios e níveis de energia digestível sobre o desempenho reprodutivo de suínos machos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.11, n.1, p 114-130, 2010.
- MATALANIS, A.; DECKER, E. A.; MCCLEMENTS, D. J. Inhibition of lipid oxidation by encapsulation of emulsion droplets within hydrogel microspheres. **Food Chemistry**, v. 132, n. 2, p. 766–772, 2012.
- MENEZES, C. R. DE.; BARIN, J. S.; CHICOSKI, A. J.; ZEPKA, L. Q.; JACOB-LOPES, E.; FRIES, L. L. M.; TERRA, N. N. Microencapsulação de probióticos: avanços e perspectivas. **Ciência Rural**, v. 43, n. 7, p. 1309–1316, 2013.
- MISHRA, P.; MISHRA, S.; MAHANTA, C. L. Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*Emblica officinalis*) juice powder. **Food and Bioproducts Processing**, v. 92, n. 3, p. 252-258, 2014.
- MOHAN, A.; RAJENDRAN, S.R.; HE Q.S., BAZINET, L.; UDENIGWE, C.C. Encapsulation of food protein hydrolysates and peptides: A review. **Royal Society Chemistry Advances**, v. 5, p. 79270-79278, 2015.

MOKNI GHRIBI, A.; MAKLOUF GAFSI, I.; SILA, A.; BLECKER, C.; DANTHINE, S.; ATTIA, H.; BESBES, S. Effects of enzymatic hydrolysis on conformational and functional properties of chickpea protein isolate. **Food Chemistry**, v.187, p. 322-330, 2015.

MULVIHILL, D.M. Production, functional properties and utilization of milk protein products. **Advanced Dairy Chemistry**, p. 369-404, 1992.

NAJAFI, M.N.; KADKHODAEI, R.; MORTAZAVI, S.A. Effect of drying process and wall material on the properties of encapsulated cardamom oil. **Food Biophys**, v. 6, p. 68-76, 2011.

NEDOVIC, V.; KALUSEVIC, A.; MANOJLOVIC, V.; LEVIC, S.; BUGARSKI, B. An overview of encapsulation technologies for food applications. **Procedia Food Science**, 11th International Congress on Engineering and Food (ICEF11). v. 1, p. 1806–1815, 2011.

NISHANTHI, M.; CHANDRAPALA, J.; VASILJEVIC, T. Compositional and structural properties of whey proteins of sweet, acid and salty whey concentrates and their respective spray dried powders. **International Dairy Journal**, v.74, p. 49-56, 2017.

NOFRARÍAS, M., Manzanilla, E.G., Pujols, J., Gibert, X., Majó, N., Segalés, J., Gasa, J. Effects of spray-dried porcine plasma and plant extracts on intestinal morphology and on leukocyte cell subsets of weaned pigs. **Animal Science**, v. 84, p. 2735-2742, 2006.

OGBOLU, D. O.; ONI, A. A.; DAINI, O. A.; OLOKO, A. P. In vitro antimicrobial properties of coconut oil on *Candida* species in Ibadan, Nigeria. **Medicinal Food**, v. 10, p. 384–387, 2007.

OIDTMANN, J.; SCHANTZ, M.; MÄDER, K.; BAUM, M.; BERG, S.; BETZ, M.; RICHLING, E. Preparation and comparative release characteristics of three anthocyanin encapsulation systems. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n. 3, p. 844-851, 2012.

OLIVER, C. M.; AUGUSTIN, M. A.; SANGUANSRI, L. Maillard based caseincarbohydrate microcapsules for the delivery of fish oil: Emulsion stability during in vitro digestion. **Dairy Technology**, v. 64, p.80 e 83, 2009.

OROIAN, M.; ESCRICHE, I. Antioxidantes: caracterização, fontes naturais, extração e análise, **Food Research International**, v.74, p.10-36, 2015.

PANESAR, P.S.; KENNEDY, J.F.; GANDHI, D.N.; BUNKO, K. Bioutilisation of whey for lactic acid production. **Food Chemistry**, v. 105, p. 1-14, 2007.

PATRICK, K. E.; MUHAMYANKAKA, V.; DENIS, O.; NTSAMA, I. S. B.; ZHANG, X. Desenvolvimento de microcápsulas EPA-DHA suplementadas com probióticos fermentados de leite. **Akademik Gıda**, v.11, p. 6 -15, 2013.

POKORNY, J. **Antioxidantes na preservação de alimentos**. Manual de Preservação de Alimentos, 2007

PRAKASH, B.; KUJUR, A.; YADAY, A.; KUMAR, A.; SINGH, P.; DUBEY, N.K. Nanoencapsulation: An efficient technology to boost the antimicrobial potential of plant essential oils in food system. **Food Control**, v. 89, 2018.

- PREMI, M.; SHARMA, H.K. Effect of different combinations of maltodextrin, gum arabic and serum protein protein on the encapsulation behavior and oxidative stability of vanilla oil (*Moringa oleifera*). **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 105, p.1232-1240, 2017.
- PUVACA, N.; STANAČEV, V.; GLAMOČIĆ, D.; LEVIĆ, J.; PERIĆ, L.; MILIĆ, D.; Beneficial effects of phytoadditives in broiler nutritivo. **World's Poultry Science**, v. 69, p. 27-34, 2013.
- RÉ, M. I. Microencapsulation by Spray Drying. **Drying Technology**, v. 16, n. 6, p. 1195–1236, 1998.
- RÉ, M.I. Microencapsulação – em busca de produtos ‘inteligentes’. **Revista Ciência Hoje**, v.27, n.162, p.24-29, 2000.
- REDA, S.Y.; CARNEIRO, P.I.B. Óleos e gorduras: aplicações e implicações. **Revista Analytica**, n. 27, 2007.
- REINECCIUS, G.A. Spray drying of food flavors. **Drying Technology**, v. 22, n. 6, p. 1289-1324, 2004.
- REN, Y.; XIE, H.; LIU, X.; YANG, F.; YU, W.; MA, X. Tuning the formation and stability of microcapsules by environmental conditions and chitosan structure. **International Journal of Biological Macromolecules**, n. 9, p. 1090-1100, 2016.
- REZENDE, W.O.; DONZELE, J.L.; OLIVEIRA, R.F.M.; LOBÃO, M.T.A.; FERREIRA, A.S.; SILVA, F.C.O.; APOLÔNIO, L.R. Níveis de energia metabolizável mantendo a relação lisina digestível:caloria em rações para suínos machos castrados em temrinção. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.3, p.1101-1106, 2006.
- RODEA-GONZÁLEZ, D.A., CRUZ-OLIVARES, J., ROMÁN-GUERRERO, A., RODRÍGUEZ-HUEZO, M.E., VERNON-CARTER, E.J. & PÉREZ-ALONSO, C. Spray-dried encapsulation of chia essential oil (*Salvia hispanica* L.) in whey protein concentrate-polysaccharide matrices. **Journal of Food Engineering**, v.111, n.1, p.102-109, 2012.
- RODRIGUES, R.A.; GROSSO, C.R.; Cashew gum microencapsulation protects the aroma of coffee extracts. **Journal of Microencapsulation**, v.25, p. 13-20, 2008.
- ROSS, R. P., DESMOND, C., FITZGERALD, G. F., & STANTON, C. Overcoming the technological hurdles in the development of probiotic foods. **Journal of Applied Microbiology**, v. 98, n.6, p. 1410-1417, 2005.
- SAFFARI, M.; LANGRISH, T. Effect of lactic acid in-process crystallization of lactose/protein powders during spray drying. **Journal of Food Engineering**, v. 137, p. 88-94, 2014.
- SÁNCHEZ, F. M.; GARCÍA, F.; CALVO, P.; BERNALTE, M. J.; GONZÁLEZ-GÓMEZ, D. Optimization of broccoli microencapsulation process by complex coacervation using response surface methodology. **Innovative Food Science; Emerging Technologies**, v. 34, p. 243–249, 2016.
- SÁNCHEZ, A.; ESTARRÓN-ESPINOSA, M.; OBLEDO-VÁZQUEZ, E. N.; PADILLA-CAMBEROS, E.; SILVA-VÁZQUEZ, R.;LUGO-CERVANTES, E. Antimicrobial and

antioxidant activities of Mexican oregano essential oils (*Lippia graveolens* HBK) with different composition when microencapsulated in β -cyclodextrin. *Letters in Applied Microbiology*, v. 50, n. 6, p. 585-590, 2010.

SANGUANSRI, L.; ANN AUGUSTIN, M. Microencapsulation in functional food product development. **Functional food product development**, p. 1-23, 2010.

SANTOS Z. A. S. **Valor nutricional de alimentos para suínos determinado na universidade federais de lavras**. Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Zootecnia, área de concentração em Produção Animal, para obtenção do título de Mestre. Lavras- MG– BRASIL 2003.

SCHAICH, K.M Lipid oxidation: Theoretical aspects. *Bailey's industrial oil and fat products*, **Revista John Wiley e Sons**, p. 269- 355, 2005.

SCHROOYEN, P.; VAN DER MEER, R.; DE KRUIF, C. G. Microencapsulation: its application in nutrition. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 60, n. 4, p. 475-479, 2001.

SCHUCK, P. Spray drying of dairy products: state of the art. **Le Lait**, v. 82, n.4, p. 375 382, 2002.

SEMJÉN, G. The effects of Intervention on antimicrobial resistance. **Revista Acta Veterinária**, v. 6, n. 93, p.105-110, 2000.

SHAHABUDIN, N.; YAHYA, R.; GAN, S. N. Microencapsulation of a Palm Oil-based Alkyd by Amino Resins. **Macromolecular Symposia**. p. 305-313, 2015.

SILVA, F. B.; PEREIRA, F.L.; LE HYARIC, M. A comparison of the physicochemical properties and fatty acid composition of indaiá (*Attalea dubia*) and Babassu (*Orbignya phalerata*) oils. **The Scientific World Journal**, v. 2012, 2012.

SINGH, R.; KUMAR, M.; MITTAL, A.; MEHTA, P. K. Microbial metabolites in nutrition, healthcare and agriculture. **3 Biotech**, v. 7, n. 1, p. 15, 2017.

SINGH, S.; DIXIT, D. A review on spray drying: emerging technology in food industry. **International Journal of Applied Engineering and Technology**, v. 4, n. 1, p. 1-8, 2014.

SOUZA, H. A. L.; BRAGAGNOLO, N. New method for the extraction of volatile lipid oxidation products from shrimp by headspace-solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry and evaluation of the effect of salting and drying. **Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, p. 590–599, 2014.

SOUZA, R. R.; BERGAMASCO, R.; Costa, S. C.; FENG, X.; FARIA, S. H. B.; GIMENES, M. L. Recovery and purification of lactose from whey. **Chemical Engineering and Processing**, v. 49, p. 1137–1143, 2010.

STĂNCIUC, N.; OANCEA, A.M.; APRUDI, J.; TURTURICĂ, M.; BARBU, V.; IONITĂ, E.; RAPEANU, G.; BAHRIM, G. Investigations on the binding mechanism of elderberry bioactive (*Sambucus nigra* L.) by whey proteins for efficient microencapsulation. **Journal Food Engineering**, v. 223, p. 197-207, 2018.

STOKES, C.R.; BAILEY, M.; HAVERSON, K. Development and function of the pig gastrointestinal immune system. **Digestive physiology of pigs**, p. 59-65, 2001.

- SUN, P.; ZENG, M.; HE, Z.; QIN, F.; CHEN, J. Controlled Release of Fluidized Bed-Coated Menthol Powder with a Gelatin Coating. **Drying Technology**, v. 31, n. 13–14, p. 1619–1626, 2013.
- TEIXEIRA, P. C., CASTRO, M. H., MALCATA, F. X., & KIRBY, R. M. Survival of *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* following spray-drying. **Journal of Dairy Science**, v. 78, n. 5, p.1025-1031, 1995
- TIMILSENA, Y. P.; WANG, B.; ADHIKARI, R. Advances in the microencapsulation of fatty acids polyunsaturated fatty acids (PUFAs) - rich vegetable oils Complex Coacervation: A Review. **Food Hydrocolloids**, v.69, p. 369-381, 2017.
- TONON, Renata V.; GROSSO, Carlos RF; HUBINGER, Miriam D. Influence of emulsion composition and inlet air temperature on the microencapsulation of flaxseed oil by spray drying. **Food Research International**, v. 44, n. 1, p. 282-289, 2011.
- TRIFKOVIĆ, K; DRDEVIC, V; BALANČ, B; KALUŠEVIĆ, A; LEVIĆ, S; BUGARSKI, B; NEDOVIĆ, V. Novel Approaches in Nanoencapsulation of Aromas and Flavors A.M. Grumezescu. **Encapsulations, Academic Press**, p. 363-419, 2016.
- VENTE-SPREEUWENBERG, M.A.M.; VERDONK, J.M.A.J.; BEYNEN, A.C.; VERSTEGEN, M.W.A. Interrelationships between gut morphology and feces consistency in newly weaned piglets. **Animal Science**, v. 77, p. 85-93, 2003.
- WEINBRECK, F.; MINOR, M.; KRUIF, C.G.D. Microencapsulation of oils using whey protein/gum arabic coacervates. **Journal of Microencapsulation**, v. 21, n. 6, p. 667-679, 2004.
- WÜRTH, R.; FOERST, P.; KULOZIK, U. Development and evaluation of a spray drying microencapsulation process for water-insoluble milk protein capsules. **International Dairy Journal**, v. 61, p. 99–106, 2016.
- YAN, M.; LIU, B.; JIAO, X.; QIN, S. Preparation of phycocyanin microcapsules and its properties. **Food and Bioproducts Processing**, v. 92, n. 1, p. 89–97, 2014.
- YOUSEFI, M., NATEGHI, L., & REZAEI, K Investigation of physicochemical properties, fatty acids profile and sterol content in Malaysian coconut and palm oil. **Biological Research**, v. 4, n.4, p. 214–219, 2013.
- YU, L.; CHRISTIE, G. Measurement of thermal transitions using differential scanning calorimetry. **Carbohydrate Polymers**, v. 46, p. 179-184, 2001.
- ZHANG, Y.; ZHONG, Q. Binding between bixin and whey protein at pH 7.4 studied by spectroscopy and isothermal titration calorimetry. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n. 7, p. 1880-1886, 2012.
- ZUIDAM, N. J; SHIMONI, E. Overview of microencapsulates for use in food products or processes and methods to make them. In: **Encapsulation technologies for active food ingredients and food processing**. Springer, New York, NY, 2010. p. 3-29.

APÊNDICE A – ARTIGO CIENTÍFICO

MICROENCAPSULAÇÃO DE GORDURA DE COCO COM SORO DE LEITE PARA APLICAÇÃO EM RAÇÃO DE SUÍNOS

RESUMO

O aumento da demanda por produtos de maior valor agregado é afetado por tendências do mercado global. A implantação de novas tecnologias como alternativa para a utilização dos subprodutos gerados, que podem apresentar problemas ao meio ambiente, é de importância econômica, tecnológica e ambiental para as indústrias. Considerando o grande volume de soro de leite, derivado da produção de queijo, que possui elevado valor nutricional e a poluição ambiental associada ao seu destino inadequado, as indústrias buscam alternativas viáveis para a sua utilização. Assim como o soro de leite, óleos e gorduras são ingredientes importantes devido às suas propriedades nutricionais, como fonte energética, e incorporação em uma variedade de produtos alimentares, tanto na alimentação humana quanto animal. A gordura de coco é utilizada na alimentação suína como excelente fonte de energia, principalmente no período pós desmame, considerado crítico em termos de nutrição. A utilização de novas tecnologias como a microencapsulação seguida de secagem por *Spray dryer* proporciona às indústrias alimentícias ferramentas para o desenvolvimento de produtos com características sensoriais apropriadas, estabilidade do produto e sem perdas dos compostos aromáticos. Desta forma, objetivou-se desenvolver um processo para microencapsular a gordura de coco por secagem em *Spray dryer*, sendo testados como principal material de parede o soro de leite, com adição de maltodextrina e goma arábica. A gordura de coco e os agentes encapsulantes foram homogeneizados, a melhor proporção de agente ativo:encapsulante foi de 1:3 m/m, apresentando uma secagem com baixo teor de umidade e perda mínima de produto no processo. As micropartículas foram caracterizadas quanto a sua composição química, morfologia, grau de encapsulação, solubilidade em água e diferentes níveis de pH e estabilidade térmica. Os agentes encapsulantes foram capazes de proteger a gordura de coco, apresentando 67 % de eficiência de encapsulação e estabilidade térmica elevada ($> 140\text{ }^{\circ}\text{C}$) obtendo-se um produto final protegido, seguro e de qualidade.

PALAVRAS CHAVE: Gordura de coco. Microencapsulação. *Spray dryer*.

ABSTRACT

The increased demand for higher value-added products is affected by global market trends. The implantation of new technologies as an alternative to the use of the generated by-products, which can present problems to the environment, is of economic, technological and environmental importance for the industries. Considering the large volume of whey derived from cheese production, which has high nutritional value and the environmental pollution associated with its inadequate destination, industries are looking for viable alternatives for their use. As well as whey, oils and fats are important ingredients due to their nutritional properties, as an energy source, and incorporation into a variety of food products, both in human and animal food. Coconut fat is used in pig feed as an excellent source of energy, especially in the post-weaning period, considered critical in terms of nutrition. The use of new technologies such as microencapsulation followed by *Spray dryer* drying gives the food industry tools for the development of products with appropriate sensorial characteristics, stability of the product and without loss of aromatic compounds. In this way, the objective was to develop a process for microencapsular the coconut fat by drying in *Spray dryer*, being tested as main wall material

whey, with addition of maltodextrin and gum arabic. The coconut fat and the encapsulating agents were homogenized, the best active agent: encapsulant ratio was 1: 3 m / m, exhibiting a low moisture content and minimal loss of product in the process. The microparticles were characterized as to their chemical composition, morphology, degree of encapsulation, water solubility and different pH levels and thermal stability. Encapsulating agents were able to protect coconut fat, having 67% encapsulation efficiency and high thermal stability ($> 140^{\circ} \text{C}$), a safe, high quality final product was obtained.

KEY WORDS: Coconut fat. Microencapsulation. *Spray dryer*.

1 INTRODUÇÃO

A indústria de alimentos possui o desafio de atender às necessidades dos consumidores, desenvolver novos produtos e buscar alternativas para a utilização de subprodutos gerados, que apresentam problemas ao meio ambiente. O soro de leite é o subproduto obtido a partir da coagulação do leite destinado à fabricação de queijos (GANJU; GOGATE, 2017). As proteínas presentes no soro de leite são consideradas surfactantes naturais (ÇAKIR- FULLER, 2015), possuem propriedades antioxidantes (MATALANIS et al., 2012) e são materiais de parede promissores para a microencapsulação de compostos sensíveis (EL-SALAM; EL-SHIBINY, 2015). Os agentes encapsulantes mais utilizados para encapsulação de óleos são a maltodextrina (MD), a goma arábica (GA) e os concentrados de proteína de soro de leite (WPC) (JAFARI et al., 2008; AGHBASHLO et al., 2013).

Os óleos e gorduras são ingredientes importantes devido às suas propriedades nutricionais e por isso são incorporados em uma variedade de produtos alimentares, tanto na alimentação humana quanto animal (LALLES et al., 2009). A gordura de coco é utilizada na alimentação animal como excelente fonte de energia, principalmente no período pós desmame em suínos, considerado crítico em termos nutricionais (HAN et al., 2011). Porém, a oxidação lipídica é uma das principais causas de perda de qualidade nos alimentos, afetando negativamente suas propriedades nutricionais e sensoriais (FENG et al., 2015).

A microencapsulação de óleos e gorduras permite evitar a instabilidade química criada pelo ar, luz, altas temperaturas e umidade, sendo estes os fatores responsáveis pela rápida degradação e evaporação dos princípios ativos (DRIDI et al., 2016). A técnica, seguida de secagem por *Spray dryer* é o processo mais utilizado na indústria de alimentos, por ser de simples operação e boa relação custo benefício. Possui fácil disponibilidade de equipamentos podendo ser utilizada para obter produtos com propriedades específicas (CALISKAN; DIRIM, 2013). Este processo torna-se importante, por proporcionar benefícios à ingredientes sensíveis, destacando-se a proteção, qualidade e segurança.

Este estudo tem como objetivo desenvolver um processo e obter o produto denominado “*whey fat*” com a proteção da gordura por meio da formação de micropartículas, utilizando o soro de leite como principal agente encapsulante. Foram avaliados a eficiência de encapsulação, tamanho e forma das micropartículas, Aw, FTIR, TGA e estabilidade do produto.

2 MATERIAIS

O soro de leite concentrado e a gordura de coco (mistura de Coco Babaçu: *Orbignya phalerata* e Palmiste: *Elaeis guineensis*; marca QualiCôco) foram fornecidos pela Empresa RELAT – LATICÍNIOS RENNEN S.A de Estação – RS. A maltodextrina (MD), (MOR REX 1920/Ingredion) e a goma arábica em pó pura (GA), (SYNTH) foram adquiridas pelo Laboratório de Bioquímica e Bioprocessos - UPF.

3 MÉTODOLOGIA

3.1 Caracterização da matéria-prima e elaboração das micropartículas

A gordura de coco foi caracterizada quanto ao perfil de ácidos graxos por Cromatografia Gasosa (SHIMADZU, modelo GCMS – TQ8030), nas seguintes condições: coluna DB-WAX – 30 m x 0,25 mm x 0,25 µm; temperatura da coluna: 130 °C 0 min 2 °C/min até 210 °C (2 min); injeção Split 1:50; temperatura do injetor: 230 °C; volume injetado: 1 µL; método de quantificação: normalização de área; gás de arraste: Hélio Ultra Puro 1 mL min⁻¹. A análise foi realizada pelo Laboratório de Cromatografia do Centro de Pesquisa em Alimentação (CEPA), da Universidade de Passo Fundo (UPF).

As micropartículas foram elaboradas pela técnica de secagem por *Spray dryer* e foram baseadas: no processo de encapsulação, nos agentes encapsulantes utilizados, na quantidade de material núcleo capaz de ser aprisionado, homogeneização da amostra, na solubilidade e eficiência de encapsulação.

Foram testadas diferentes proporções de agente ativo (gordura de coco):encapsulante (soro de leite; maltodextrina ; goma arábica), sendo elas: 1:50, 1:40, 1:30, 1:20, 1:10 e 1:5 (v/v) (SÁNCHEZ et al., 2016; FRASCARELI, 2012; DESAI; PARK, 2005).

As proporções de agente encapsulantes foram definidas de a) Soro de leite; b) Soro de leite:MD:GA (50:25:25 m/m) e c) soro de leite:GA (50:50 m/m) (JAFARI et al., 2008). Estes agentes transportadores em diferentes proporções foram dissolvidos em água utilizando um agitador magnético. As formulações foram preparadas com diferentes agentes transportadores onde a concentração de sólidos solúveis foi fixado em 30% e relação de 1:3

núcleo:encapsulante, respectivamente (PREMI; SHARMA, 2017). A proporção de agente ativo (gordura de coco) : encapsulante (soro de leite; maltodextrina ; goma arábica), definida foi de 1:50 v/v (SÁNCHEZ et al., 2016; FRASCARELI, 2012; DESAI; PARK, 2005).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS MICROPARTÍCULAS

3.2.1 Solubilidade em água

A solubilidade das micropartículas foi determinada segundo a metodologia descrita por Cano-Chauca et al. (2005), com adaptações. Para as análises utilizou-se 1 g de cada amostra adicionada à 100 mL de água destilada, obtendo-se uma suspensão. O cálculo foi realizado pela diferença de massa e os resultados foram expressos em percentual.

3.2.2 Determinação da eficiência de encapsulação (EE%)

A quantidade de óleo não encapsulado foi o indicador para calcular a eficiência de encapsulamento após a produção por secagem por *Spray dryer*. A análise foi determinada segundo a metodologia de Tonon et al., (2011) e Wang et al., (2011). A quantidade de óleo superficial foi calculada pela diferença nos pesos inicial e final do recipiente.

3.2.3 Solubilidade em meio ácido

A solubilidade em meio ácido das micropartículas foi determinada pelo método gravimétrico publicado por Eastman e Moore (1984) e citado por Cano-Chauca et al. (2005) com modificações. Foi realizada uma solução com o ácido clorídrico (HCl), em diferentes níveis de pH, com o intuito de simular o pH estomacal do suíno (1,7 – 2,0) e verificar o comportamento da micropartícula nesse meio. O percentual de solubilidade foi calculado pela diferença de massa inicial e final.

3.2.4 Caracterização Morfológica

As características superficiais (externas) foram avaliadas através do uso de microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura (MEV), (Modelo JSM-6390LV, JEOL).

3.2.5 Tamanho de partícula e dispersão granulométrica

O tamanho de partícula foi avaliado por espectrometria de difração a laser, utilizando faixa de análise entre 0,3 μm a 500 μm e foi avaliado utilizando um instrumento de difração de luz laser (BETTERSIZER, modelo S2-WD). O *span*, valor matemático definido como a medida da dispersão granulométrica (CHEN; DAVIS, 2002), avalia a variação do volume de

distribuição das partículas em relação ao diâmetro médio, foi calculado de acordo com a Equação (1):

$$span = \frac{d_{(v,90)} - d_{(v,10)}}{d_{(v,50)}}$$

sendo:

$d_{(v,90)}$, $d_{(v,50)}$, $d_{(v,10)}$ correspondem, respectivamente, ao diâmetro das partículas a 10%, 50% e 90% da distribuição acumulada para a amostra.

3.3 ESTABILIDADE DAS MICROPARTÍCULAS

3.3.1 Determinação da atividade de água

Avaliou-se a atividade de água das amostras utilizando aparelho LabMaster-aw *neo*, Novasina AG, de leitura direta. As leituras foram realizadas a temperatura de 25 °C, com tempo máximo de análise de 3 horas.

3.3.2 Avaliação por espectroscopia na região do infravermelho

As amostras foram analisadas por espectroscopia na região do infravermelho (Agilent Technologies, modelo Cary 630). Os espectros foram coletados através de 48 varreduras no modo de absorbância de 4000 a 650 nm com uma resolução de 4 nm . As análises foram realizadas à temperatura ambiente (25 °C).

3.3.3 Calorimetria exploratória diferencial e Termogravimetria

As curvas de calorimetria exploratória diferencial (DTA) foram obtidas por uma célula calorimétrica (SHIMADZU, Kyoto, Japão), modelo DSC-60. As amostras foram analisadas sob atmosfera de nitrogênio de 50 mL/min, com taxa de aquecimento de 10 °C/min e faixa de temperatura entre 20 a 600 °C (LI et al., 2014).

As curvas termogravimétricas foram obtidas em analisador térmico (SHIMADZU, modelo TGA-60). A temperatura inicial de decomposição (T_{di}), a temperatura máxima derivada da taxa de decomposição (TGA_{max}) e as perdas de peso correspondentes - assim como a massa residual foram determinadas.

3.4 TRATAMENTO DOS DADOS

Os resultados das amostras padrão e micropartículas foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas através do teste de Tukey com intervalo de

confiança de 95% para avaliar comportamento das micropartículas, com exceção da análise morfológica, tamanho de partícula, avaliação por espectroscopia na região do infravermelho e termogravimetria.

4 RESULTADOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

O soro de leite utilizado foi previamente desmineralizado parcialmente por nanofiltração, cristalizado e concentrado com 60% sólidos solúveis a temperatura ambiente. A gordura de coco foi caracterizada quanto ao perfil de seus ácidos graxos por Cromatografia Gasosa (Tabela 1).

Tabela 1 – Composição e quantificação dos ácidos graxos presentes na gordura de coco.

Simbologia	Nomenclatura	Quantidade % (g/100 g amostra)
C8:0	Ácido caprílico	1,33
C10:0	Ácido cáprico	2,13
C12:0	Ácido láurico	37,23
C14:0	Ácido mirístico	15,11
C16:0	Ácido palmítico	9,91
C18:0	Ácido esteárico	3,62
C18:1	Ácido oleico	26,56
C18:2	Ácido linoleico	3,84
C18:3	Ácido linolênico	0,27
Saturados		69,33
Insaturados		30,67

Fonte: Autor (2018)

A gordura de coco, é composta por praticamente 70% de ácidos graxos saturados. O ácido láurico, presente em maior quantidade (37,23%), destaca-se por ser resistente a oxidação não enzimática e ao contrário de outros óleos e gorduras apresenta temperatura de fusão baixa e bem definida (24,4 - 25,6 °C) (ASSUNÇÃO et al., 2009). As gorduras láuricas são utilizadas na indústria cosmética e alimentícia em virtude de suas propriedades físicas e estabilidade (MACHADO et al., 2006).

Apesar de representar 30% na composição da gordura de coco, os ácidos graxos insaturados podem sofrer oxidação de seus compostos. A oxidação é quase sempre acompanhada pela formação de ácido graxo livre e é acelerada pelo aquecimento, luz e temperatura, desenvolvendo sabor e odor indesejáveis (DEBMANDAL et al., 2011). Desta forma, a proteção e estabilidade da gordura de coco torna-se necessária para garantir a qualidade do produto.

A composição química do óleo de coco pode variar de acordo com a condição climática e localização geográfica em que foi produzido (SILVA et al., 2016), variações na composição

de ácidos graxos (%) da gordura de coco em estudo são provenientes das diferentes regiões de origem do coco, o que justifica a diferença entre a porcentagem dos ácidos graxos da gordura de coco em estudo relacionada a estudos anteriores.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA E ELABORAÇÃO DAS MICROPARTÍCULAS

Os parâmetros estabelecidos para definir a proporção de agente ativo:encapsulante ideal, foram: obter uma homogeneização efetiva da mistura, sem separação de fases e reduzida perda de amostra na câmara de secagem.

No processo de homogeneização, a pressão foi de 200 bar e a vazão de alimentação foi de 50 L/h. A homogeneização permitiu diminuir e dispersar as partículas suspensas de modo que a mistura se tornou menos viscosa e estável, facilitando os processos seguintes, como a alimentação da amostra na secagem por *Spray dryer*.

4.2.1 Secagem por *Spray dryer*

A melhor proporção de gordura de coco e agente encapsulante foi de 1:50 (v/v). Nessa proporção, houve material proveniente do soro de leite, MD e GA suficientes para cobrir as gotículas de gordura e evitar sua aderência elevada nas paredes da câmara de secagem. Rodrigues; Grosso (2008) indicaram que as proporções de material de parede adequadas dependem principalmente de sua composição. O soro de leite utilizado na proporção definida (1 mL gordura de coco: 50 mL soro de leite) possui 60% de sólidos totais em 100 mL, totalizando 30 g de sólidos totais. Destas 30 g, 13% é valor proteico. Essa razão totaliza uma relação de 1:3 m/m de agente ativo: encapsulante, a qual é utilizada para a técnica de microencapsulação de óleos e gorduras (MENEZES et al., 2013; MARESCA et al., 2016; SÁNCHEZ et al., 2016).

4.3 CARACTERIZAÇÃO DAS MICROPARTÍCULAS

4.3.1 Atividade de água

A atividade da água é considerada como um dos fatores mais influentes na segurança e estabilidade dos alimentos e, juntamente com a temperatura, controla as propriedades físicas dos pós (BERISTAIN et al., 2003). As 11 amostras apresentaram $A_w < 0,7$ %, as amostras de *whey fat* e gordura concentrada em pó eram mais pegajosas, formando agregados, é provável

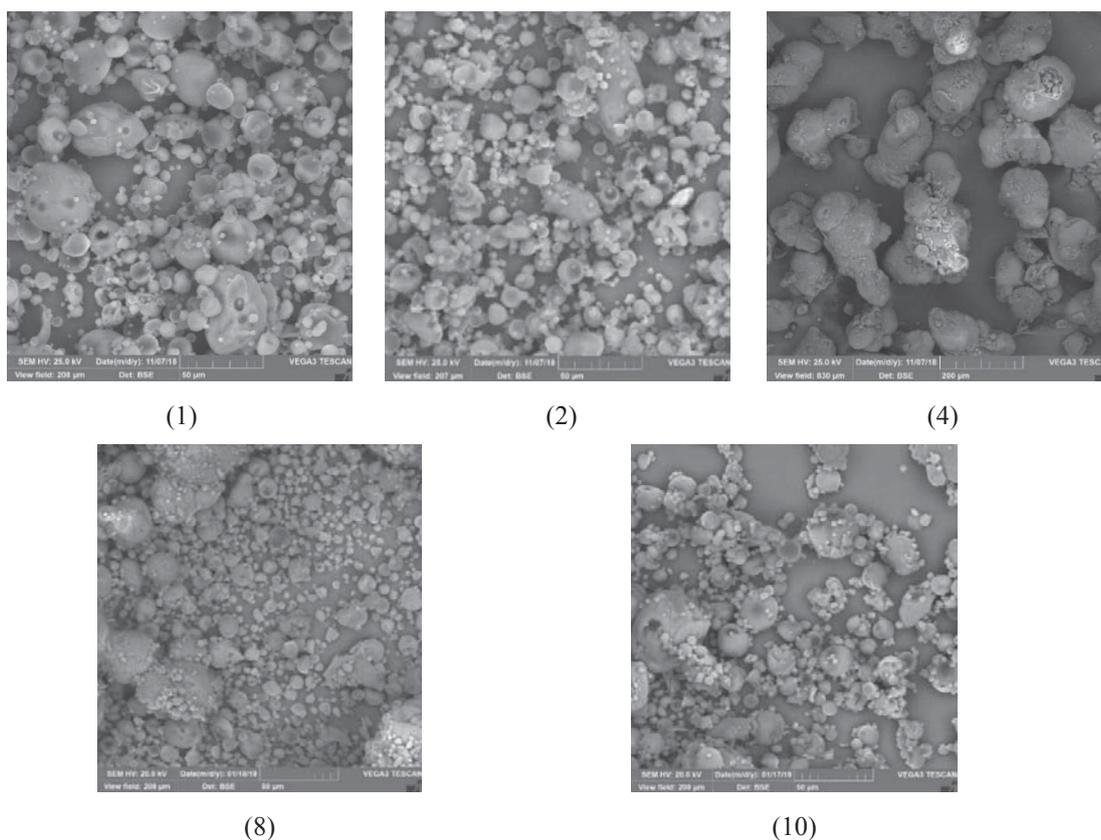
que os aglomerados de partículas tenham sido formados inicialmente por gordura não encapsulada que atuou como aglutinante, aumentando assim a coesividade.

$A_w > 0,25$ e temperaturas próximas a $30\text{ }^\circ\text{C}$ propiciam o crescimento de microrganismos (TEIXEIRA et al., 1995), neste caso as amostra gordura de coco: soro de leite e gordura de coco: soro de leite:MD:GA apresentam valores satisfatórios para a prevenção da deterioração das micropartículas.

4.3.2 Caracterização Morfológica

A análise por MEV é uma técnica amplamente utilizadas para avaliar o perfil superficial de micropartículas (PRAKASH et al., 2018). Através da análise morfológica por microscopia eletrônica de varredura (MEV) (Figura 1), verificou-se que os parâmetros de secagem utilizados no processo foram adequados, sem apresentar danos às micropartículas.

Figura 1. Análise morfológica em microscópio eletrônico de varredura (MEV).



Legenda: (1) Soro de leite, aumento 2000 x. (2) Gordura de coco:soro de leite. 13% proteínas, aumento 2000 x. (4) *Whey fat* comercial, aumento 500 x. (8) Gordura de coco: (soro de leite+MD+GA), aumento 2000 x. (10) Gordura de coco:soro de leite com adição da gordura concentrada em pó (1:1 m/m) aumento 2000 x.

Fonte: elaborado pelo Autor (2018)

As amostras obtidas apresentam forma arredondada, são levemente abauladas, íntegras, sem rachaduras, adequados para a aplicação da microencapsulação. A polidispersidade do tamanho é uma característica típica das partículas produzidas por secagem por pulverização (CARNEIRO et al., 2013). Este resultado evidencia que o *Spray dryer*, apesar de apresentar perda de amostra no equipamento durante o processo, pode ser utilizado para o encapsulamento da gordura, sem causar danos à morfologia das cápsulas e foi capaz de formar partículas em escala micro (10^{-6}). A amostra 10 que é o produto desenvolvido, possui aglomeração e tamanho das micropartículas menores, quando comparada a amostra 4; há maior polidispersidade da amostra, decorrente dos parâmetros de secagem definidos neste processo. Além disso, as micropartículas apresentam-se abauladas, mas sem a presença de rachaduras, o que torna-se um fator importante visto que os agentes encapsulantes tem a função de proteger o agente ativo contra os danos externos, como a temperatura, por exemplo.

4.3.3 Tamanho de partícula e dispersão granulométrica

Foram realizadas 100 medições em cada amostra durante a análise. Os valores médios dos diâmetros D10, D50 e D90, bem como o tamanho médio de partícula foram calculados pelo software (Tabela 2).

Tabela 2 - Distribuição do tamanho das micropartículas.

Amostra	D10 (µm)	D50 (µm)	D90 (µm)	D[4,3] (µm)	Span (µm)
1	6,254	24,23	67	28	2,506
2	6,763	35,28	381,1	96,43	10,6
4	39,88	183,6	418,8	187,0	2,06
7	3,267	13,01	40,41	19,42	2,855
8	10,39	31,52	74,24	33,16	2,025
10	5,124	20,27	62,57	25,14	2,833
11	5,862	22,16	67,65	27,38	2,787

Fonte: Autor (2019)

As partículas produzidas são caracterizadas como microesferas ou micropartículas, pois se enquadram na faixa de tamanho de 3 a 800 µm (LEE, 2014). A amostra 2 apresentou distribuição de tamanho de partícula mais ampla (maior valor de span), sendo as micropartículas menos homogêneas. O valor de D [4,3] desempenha um papel significativo nas características físicas e na eficiência de encapsulação. Quanto maior a viscosidade da emulsão, gotículas maiores serão formadas durante a atomização, formando a rede ao redor do material do núcleo, o que aumenta a espessura do casco ao redor do núcleo, o que pode resultar na maior retenção do material do núcleo ativo (NAJAFI et al., 2011).

O tamanho da partícula e a distribuição do tamanho das partículas influenciam nas propriedades de fluxo de um pó. A principal consideração é o grau de aglomeração das partículas, partículas pequenas aderem-se mais fortemente entre si do que partículas grandes, então pós finos apresentam uma maior tendência à aglomeração, que é atribuída a sua estrutura superficial irregular devido à presença das depressões, o que explica o valor elevado do *Span* nas amostras.

4.3.4 Solubilidade em água e Eficiência de Encapsulação (EE%)

A solubilidade em água é um fator importante, visto que possibilita a aplicação das micropartículas e sua estabilidade em diferentes produtos alimentícios (BENDER et al., 2016). Os valores de EE (%) quantificaram a presença de gordura nas superfícies das partículas e o grau em que a matriz de encapsulamento pode impedir a extração de gordura encapsulada (Tabela 3).

Tabela 3 – Solubilidade em água e Eficiência de encapsulação das micropartículas com diferentes agentes encapsulantes.

Amostra	Solubilidade em água (%)	EE (%)
1	77,62 ± 0,21 ^g	-
2	72,56 ± 0,36 ^f	41,20 ± 0,09 ^a
4	46,34 ± 0,26 ^b	91,43 ± 0,41 ^g
7	45,09 ± 0,10 ^a	89,08 ± 0,02 ^f
8	49,54 ± 0,6 ^d	67,19 ± 0,14 ^d
9	56,22 ± 0,67 ^e	55,65 ± 0,53 ^b
10	48,46 ± 0,05 ^c	68,54 ± 0,02 ^e
11	49,00 ± 0,01 ^{cd}	58,40 ± 0,36 ^c

Legenda: média±desvio padrão; Valores seguidos de letras iguais na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Fonte: Autor (2019)

As micropartículas 1 e 2 apresentaram maior teor de solubilidade, devido à sua composição, evidenciando que a aplicação do soro de leite com elevado teor de lactose é limitado pela facilidade em solubilizar em água.

As amostras 8 e 10; 10 e 11 são significativamente iguais ($p \leq 0,5$). A composição desses polissacarídeos (MD e GA), como agentes encapsulantes, apresentaram maior resistência à solubilidade (KANG, et al., 2019). Pelo fato das micropartículas serem armazenadas em forma de pó com teor de umidade inferior a 4%, protegidas do ambiente externo e posteriormente

serem adicionadas à ração animal, também em base seca, a solubilidade não se torna um interferente na segurança e qualidade do produto durante seu *shelf life*.

A EE (%) reflete o grau de retenção e proteção dos materiais centrais incorporados nos materiais da parede. O teor de óleo na superfície é um indicador de óleo não encapsulado e tem sido usado como um parâmetro crucial para determinar a qualidade das microcápsulas, porque é propenso a oxidação, resultando em aromas não desejáveis (BINSI et al., 2017). As amostras 4 e 7 apresentaram maior valor de EE (%), ambas já são comercializadas e não apresentam em suas formulações qual é o agente encapsulante utilizado. A combinação do soro de leite com a maltodextrina e goma arábica são uma alternativa para melhorar a EE (%) da gordura de coco, tendo em vista sua proteção durante o armazenamento e o custo-benefício da produção, já que estes polissacarídeos são vastamente utilizadas e apresentam baixo custo.

Os valores de EE (%) das amostras 8,9,10 e 11 foram superiores à amostra 2, devido à escolha e ao adequado índice de material de parede para microencapsulação. A menor eficiência da amostra 2 pode ser explicada pela composição da matriz encapsulante. Apesar dos cristais de lactose se agregarem à gordura durante à homogeneização eles não são capazes de protegê-la como o soro de leite com maior teor de proteínas (KARACA et al., 2013) e foi insuficiente para formar uma matriz densa, fortemente compactada em torno das gotículas de gordura dispersas.

Os resultados de eficiência de encapsulação obtidos foram inferiores ao encontrado por PREMI & SHARMA (2017) que também utilizaram o método de microencapsulação seguida de secagem por Spray dryer, utilizando soro de leite, MD e GA para proteção do óleo de baunilha. Eles obtiveram 73,43% de eficiência de encapsulação, utilizando uma maior proporção de maltodextrina e menor proporção de GA e soro de leite, este com elevado teor proteico (WPC), a qual difere das proporções utilizadas neste estudo, com maior proporção de soro de leite, sendo este, com baixo teor proteico e elevado teor de lactose.

4.3.5 Solubilidade em meio ácido

As amostras escolhidas (Tabela 4) para o teste da solubilidade em diferentes pHs foram baseadas em relação aos valores de solubilidade em água e EE (%).

Tabela 4 – Solubilidade em meio ácido das microcápsulas escolhidas a partir dos testes de encapsulação.

Amostra	Solubilidade pH 1,2	Solubilidade pH 4,8	Solubilidade pH 6,8
1	-	-	-
2	72,32 ± 0,01 ^b	21,82 ± 0,03 ^e	11,30 ± 0,01 ^d
4	68,34 ± 0,02 ^a	19,38 ± 0,03 ^d	8,62 ± 0,05 ^b
7	-	-	-
8	73,52 ± 0,01 ^b	15,52 ± 0,04 ^c	10,83 ± 0,02 ^c
9	-	-	-
10	73,12 ± 0,01 ^b	10,52 ± 0,01 ^a	2,74 ± 0,04 ^a
11	72,54 ± 0,04 ^b	12,72 ± 0,02 ^b	12,28 ± 0,01 ^e

Legenda: média±desvio padrão; Valores seguidos de letras iguais na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: Autor (2019)

As amostras definidas para a solubilidade em diferentes pHs, tendo como base os resultados de EE (%) apresentaram elevado teor de solubilidade no primeiro pH simulado (1,2). O esperado para a liberação controlada da gordura é que ela resistisse ao pH estomacal e solubilizasse apenas em meio tampão, tendo como base o teor de EE (%) analisado. porém não foi o que aconteceu.

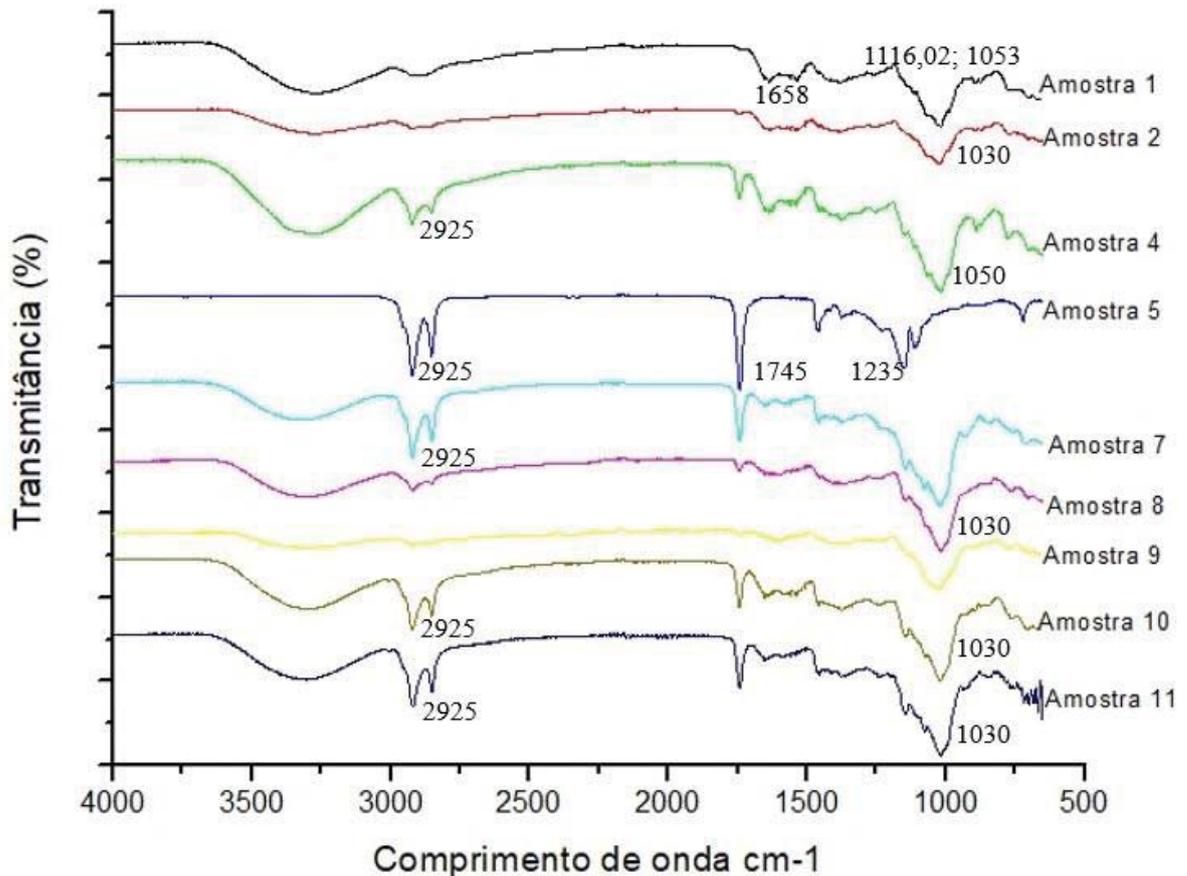
Microcápsulas contendo proteína de soro de leite (> 60 %) como agente encapsulante podem ser classificadas como “liberação prolongada” devido a capacidade protetora sustentada durante toda a duração da digestão (OIDTMANN et al., 2012). As micropartículas elaboradas neste estudo, apresentam menor valor proteico (~ 13 %) e maior concentração de lactose, tornando-os interferentes na efetiva proteção da gordura.

A amostra 4 apresenta elevados valores de EE (91,43 %) e também de solubilidade em pH 1,2; 4,8 e 6,8; o que indica que o material de parede utilizado é capaz de proteger o agente ativo contra as condições do meio externo como a luz, temperatura, umidade, mas não possui a capacidade de liberar o agente ativo somente após a passagem pelo pH estomacal, o que seria extremamente importante para garantir a ação antimicrobiana da gordura de coco na bíles do animal (SÁNCHEZ et al., 2010).

4.3.6 Avaliação por espectroscopia na região do infravermelho

A Figura 2 apresenta os resultados da avaliação por espectroscopia na região do infravermelho das amostras padrão e das micropartículas desenvolvidas neste estudo. As banda observadas na faixa de 500 a 3000 cm^{-1} são atribuídas às vibrações dos constituintes das amostras (gordura, proteína, lactose.)

Figura 2 - Análise FTIR das micropartículas, agente ativo e agentes encapsulantes.



Legenda: 1) Soro de leite (Padrão); 2) Gordura de coco : soro de leite. 13% valor proteico; 4) *Whey fat* comercial; 5) Gordura de coco extra virgem; 7) Gordura concentrada em pó; 8) Gordura de coco: (Soro de leite+MD+GA); 9) Gordura de coco: (Soro de leite+GA); 10) Gordura de coco : soro de leite, com adição de gordura concentrada em pó (1:1 m/m); 11) Gordura de coco : (Soro de leite+MD+GA) com adição de gordura concentrada em pó (1:1 m/m). Fonte: elaborado pelo Autor (2019)

Os picos entre 3500 e 3000 cm^{-1} que são atribuído aos trechos vibracionais associados a grupos hidroxila livres (MIAO et al., 2014), relacionados ao teor de umidade das amostras. As amostras 1 e 2 apresentam picos de acordo com resultados obtidos anteriormente (GAIANI et al., 2011) e confirmam a presença de grupos funcionais característicos das estruturas proteicas. Bandas em 1162,43; 1116,02; 1023,20 e 937,02 cm^{-1} , estão associadas as proteínas e atribuídas a distensão da ligação C-O (VIGNOLLES et al., 2009) e os picos entre 1000 e 1053 cm^{-1} ligações C-OH (KUMAR; KRISHMA, 2015).

As amostras 4, 5, 7, 10 e 11 apresentam picos entre 2800 e 3100 cm^{-1} os quais são característicos de lipídeos (2850, 2925 e 3010 cm^{-1}) e indicam a ligação C-H (LEI et al., 2010). As bandas entre 1235 e 1050 cm^{-1} são atribuídas à combinação de modos de deformação de grupos metil (CH_3) e metileno (CH_2) nas estruturas lipídicas (TIMILSENA et al, 2019) e o pico de absorção de 1745 cm^{-1} é devido à presença de C=O e ligações C-C caracterizadas por grupos de ácidos graxos saturados (COSTA et al., 2016), os quais são bem salientes na amostra 5.

Os picos entre 800 e 1050 cm^{-1} da maioria das amostras são característicos também de vibrações de C-O dos carboidratos presentes nas micropartículas. Os picos 1030 a 1150 cm^{-1} são relacionados à ligação C-OC-CC-O-C similares as vibrações presentes na lactose (LAI et al., 2013). Com exceção da amostra 5, as posições e formas dos picos das principais bandas específicas no espectro são semelhantes entre si, apesar das intensidades serem diferentes. Portanto, pode-se determinar que todas elas contém lactose em sua formulação (ENAYATI et al., 2018).

As bandas em 1618 e 1675 cm^{-1} também são atribuídas à estruturas que apresentam alta porcentagem de proteínas que podem estar presentes no soro de leite (ZHANG; GOFF, 2004). Os picos amplos com intensidade média em torno de 1658 e 1544 cm^{-1} representam as vibrações da amida I e II das proteínas, as amostras 1 e 2 não possuem esse pico devido ao elevado teor de lactose e menor teor proteico do soro de leite.

Em comparação com as intensidades de pico para as amostras 8 e 9, que possuem em sua composição MD e GA, a intensidade dos picos em 2927, 2855 cm^{-1} diminuíram consideravelmente. Isso implica que polissacarídios presentes nessas amostras podem participar de reações químicas durante a secagem por atomização, como ligação de hidrogênio e/ou esterificação entre MD e GA (KANG et al., 2019), propondo que houve a microencapsulação da gordura de coco.

A amostra 10, que é o produto final elaborado, apresenta um perfil de vibrações análogas com a amostra 4, o que é um aspecto positivo pois espera-se que as micropartículas desenvolvidas apresentem similaridade com a amostra comercial, indicando que foi possível a formação de uma matriz encapsulante com proteção da gordura de coco, mesmo utilizando um soro de leite com elevado teor de lactose.

4.3.7 Calorimetria exploratória diferencial e Termogravimetria

As amostras apresentaram eventos endotérmicos, como a gordura de coco é composta por ácidos graxos (lipídios), pode-se associá-la ao ponto de fusão dos mesmos; o soro de leite, a maltodextrina e goma arábica são constituídos predominantemente de lactose, proteínas e carboidratos, associados a desnaturação. É possível observar duas regiões principais de mudanças de fase nas amostras (Tabela 5).

Tabela 5 - Calorimetria exploratória diferencial e termogravimetria da amostra padrão, agente ativo e micropartículas.

Amostra	Estágio	Ti (°C)	Tp (°C)	ΔH	% perda massa	% perda
				(J/g)	no evento	massa total
1	1	136,95	147,97	17,32	35,08	60
	2	198,45	197,09	110,06	9,41	
2	1	141,25	148,71	31,93	2,01	60
	2	186,82	195,69	89,74	30,85	
4	1	165	196,42	23,18	17,5	80
5	1	30,09	33,71	25,53	99,3	99,8
8	1	142,52	150,75	13,58	26,53	70
	2	189,97	212,27	65,2	25,54	
10	1	138,89	147,94	18,94	20,39	80
	2	174,07	199	38,83	42,29	

Legenda: (1) soro de leite em pó (padrão), (2) Micropartículas de gordura de coco:soro de leite; (4) Whey fat comercial; (5) gordura de coco; (8) Micropartículas de gordura de coco: Soro de leite + MD + GA; (10) Micropartículas de gordura de coco:soro de leite com adição de gordura concentrada em pó.

Fonte: Autor, 2019

A entalpia de fusão das amostras 4 e 5 foram menores quando comparadas a amostra padrão 1, esta redução da entalpia de fusão ocorre devido à diminuição da porção cristalina das amostras contendo gordura de coco, a presença da gordura desorganiza a estrutura cristalina, necessitando assim de menor energia para ocorrer a fusão da amostra (ROJAS, 2018).

As amostras 1, 2, 8 e 10 apresentam no primeiro estágio, um pico inicial em torno de 130 °C a 140 °C que corresponde as perdas de massa de 60%, 60% 70% e 80%, respectivamente, devido a decomposição térmica dos carboidratos e proteínas (CHEN et al., 2014). Acima de 190 °C, caracterizado como segundo estágio, os componentes das amostras, tais como, carboidratos, proteínas e outros componentes menores, que são decompostos e liberam substâncias voláteis (RIZZO et al., 2013), apresentando perda de massa. A amostra 1 possui a primeira mudança de fase em 147,97 °C, com $\Delta H = 17,32$ J/g que pode ser atribuído às proteínas presentes no soro de leite e o segundo pico em 197,09 °C, com $\Delta H = 110,00$ J/g, caracterizando o ponto de fusão da lactose que é aproximadamente em 202,8 °C (SCHAAFSMA, 2008).

A amostra 4 apresenta Ti e Tp superiores às demais amostras, o que indica uma maior proteção do agente ativo. A temperatura de fusão da amostra 5 foi 30,09 °C e com perda total

de 99,8 % de amostra. Ao utilizar o soro de leite como agente protetor, a temperatura de desnaturação passou a ser 148,71 °C, demonstrando que os agentes encapsulantes definidos foram capazes de proteger a gordura contra o dano térmico.

Um fator importante para garantir a estabilidade do produto ao longo do *shelf life* é o armazenamento. Neste caso, as amostras serão armazenadas em embalagens à vácuo, protegidas da luz e mesmo com o transporte, não atingirão a temperatura inicial de degradação prevista pela análise.

5 CONCLUSÕES

A gordura de coco é composta principalmente por ácidos graxos saturados, destacando-se o ácido láurico (C 12:0), que garante a estabilidade e resistência à oxidação. Porém, a gordura de coco é termicamente instável, o que compromete suas características sensoriais justifica a necessidade da microencapsulação para ser adicionada à ração animal.

Os parâmetros utilizados na homogeneização - pressão de 200 bar, da gordura de coco com o soro de leite, maltodextrina e goma arábica foi eficiente para a redução do tamanho dos cristais de lactose auxiliando no rompimento de partículas suspensas em tamanhos menores e na consistência da mistura.

Os parâmetros de secagem estabelecidos resultaram em micropartículas íntegras, sem rachaduras, com teor de umidade inferior a 4 % e atividade de água $A_w < 0,25$ %, valores desejáveis para pós microencapsulados. O tamanho das cápsulas produzidas os caracteriza como micropartículas e/ou microesferas, pois se enquadram na faixa de tamanho de 3 a 800 μm , sendo adequadas para aplicação em produtos alimentícios, tanto na alimentação humana quanto animal. A estabilidade térmica da gordura de coco aumentou drasticamente com a adição dos agentes encapsulantes (33,71 para 148,71 °C).

Diante disso, este estudo mostrou que o processo de microencapsulação seguido de secagem por *Spray dryer* permitiu a proteção da gordura de coco, a amostra 10 foi definida como produto final e é semelhante ao *whey fat* já comercializado. A adição da maltodextrina e goma arábica é uma alternativa para aumentar os valores de solubilidade em água e EE (%) das micropartículas. As micropartículas serão armazenadas protegidas da luz, ar, umidade, garantindo a proteção, qualidade e estabilidade das mesmas durante o armazenamento. A presente pesquisa também comprovou que é possível utilizar o soro de leite com elevado teor de lactose (aprox.75%) para desenvolver novos produtos ou agregar valor aos já existentes.

Além disso, o produto final apresenta características sensoriais importantes, como aroma e odor adocicados, o que estimula a alimentação dos suínos no período pós desmame.

REFERENCIAS

AGHBASHLO, M.; MOBILI, H.; MADADLOU, A.; RAFIEE, S. Influence of wall material and inlet drying air temperature on the microencapsulation of fish oil by spray drying. *Food and Bioprocess Technology*, v. 6, n. 6, p. 1561-1569, 2013.

AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY. **Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society**. AOCS press, 1990.

ASSUNÇÃO, M. L.; FERREIRA, H. S.; SANTOS, A. F.; CABRAL, C. R.; FLORENCIO, T. M. M. T. Effects of Dietary Coconut Oil on the Biochemical and Anthropometric Profiles of Women Presenting Abdominal Obesity. *American Oil Chemists' Society*, v. 44, p. 593-601, 2009.

BAUER, E.; JAKOB, S.; MOSENTHIN, R. Principles of physiology of lipid digestion. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, v. 18, n. 2, p. 282-295, 2005.

BENDER, L. E.; GUARIENTI, C.; PRIGOL, A. C.; BERTOLIN, T. E. Solubilidade de microcápsulas de *Spirulina* produzidas pela técnica de *Spray drying* com diferentes agentes encapsulantes. **III Semana do conhecimento**, 2016. Disponível em: <<http://semanadoconhecimento.upf.br/download/anais-2016/ciencias-agrarias/Leticia-Eduarda-Bender-SOLUBILIDADE.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2018.

ÇAKIR-FULLER, E. Enhanced heat stability of high protein emulsion systems provided by microparticulated whey proteins. *Food Hydrocolloids*, v. 47, p.41-50, 2015.

CALISKAN, G.; DIRIM, S. N. The effects of the different drying conditions and the amounts of maltodextrin addition during spray drying of sumac extract. *Food and Bioprocess Processing*, v. 91, n. 4, p. 539-548, 2013.

CHAVES, K. F.; CALLEGARO, E. D.; SILVA, V. R. O. Utilização do soro de leite nas indústrias de laticínios da região de Rio Pomba-MG. In: CONGRESSO NACIONAL DE LATICÍNIOS, 27., 2010, Juiz de Fora. **Anais do Congresso Nacional de Laticínios**. Juiz de Fora: EPAMIG/ ILCT, 2010.

CHEN, E.; ELEVITCH, C. R. Cocos nucifera (coconut), ver. 2.1. In: C. R. Elevitch (Ed.), Species profiles for pacific island agroforestry, **Holualoa Hawaii: Permanent Agriculture Resources**, p. 1-27, 2006

DEBMANDAL, M.; MANDAL, S. Coconut (Cocos nucifera L.: Areaceae): In health promotion and disease prevention. *Journal of Tropical Medicine*, p. 241-247, 2011.

DESAI, K.G.H.; PARK, H.J. Encapsulamento de vitamina C em tripolifosfato reticulado microesferas de quitosana por secagem por pulverização, *Journal Microencapsulation*, v. 22, n.2, p. 179-192, 2005.

- DRIDI, W., ESSAFI, W., GARGOURI, M., LEAL CALDERON, F.; CANSELL, M. Influence of formulation on the oxidative stability in water-in-oil emulsions. **Food Chemistry**, v. 202, p. 205–211, 2016.
- FANG, Z.; BHANDARI, B. Encapsulation of polyphenols – a review. **Food Science Technology**, v. 21, n. 10, p. 510–523, 2010.
- FRASCARELI, E. C.; SILVA, V. M.; TONON, R. V.; HUBINGER, M. D. Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray drying. **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, p. 413-424, 2012.
- GANJU, S.; GOGATE, P.R. A review on approaches for efficient recovery of whey proteins from dairy industry effluents. **Food Engineering**, v. 215, p. 84-96, 2017.
- GIRON, D. Applications of thermal analysis and coupled techniques in pharmaceutical industry. **Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 68, p. 335-357, 2002.
- HAN, Y. K.; HWANG, I.H.; THACKER, P.A. Use of a micro-encapsulated eucalyptus medium chain fatty acid product as an alternative to zinc oxide and antibiotics for weaned pigs. **Journal of Swine Health and Production**, v. 19, p. 34-43, 2011.
- JAFARI, S. M.; ASSADPOOR, E.; HE, Y.; BHANDARI, B. Encapsulation efficiency of food flavours and oils during spray drying. **Drying Technology**, v. 26, n.7, p. 816-835, 2008.
- JI, I.; SEETHARAMAN, K.; WHITE, P. J. Optimizing a small-scale corn starch extraction method for use in laboratory. **Cereal Chemistry**, v.1, n. 81, p. 55-58, 2004.
- KOLAKAWSKA, A.; BARTOSZ, G. Oxidation in food components: Na introduction. In G. Bartosz (Ed.), **Food oxidants and antioxidants chemical, biological, and functional properties**. Boca Raton: CRC Press Taylor; Francis Group, 2014.
- MACHADO, G. C.; CHAVES, J.B.P.; ANTONIASSI, R. Composição em ácidos graxos e caracterização física e química de óleos hidrogenados de coco babaçu. **Revista Ceres**, v.53, p.308 e 463, 2006.
- MARESCA, D., DE PRISCO, A., LA STORIA, A., CIRILLO, T., ESPOSITO, F., MAURIELLO, G. Mycroencapsulation of nisin in alginate beads by vibratory technology: preliminary investigation. **LWT. Food Science and Technology**, v. 66, p. 436-443, 2016.
- MASCARENHAS, A. G.; DONZELE, J. Lopes.; OLIVEIRA, R. F. M.; SANTOS, A. D. F.; NEVES, M. T. D. Fontes de lipídios e níveis de energia digestível sobre o desempenho reprodutivo de suínos machos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.11, n.1, p 114-130, 2010.
- MATALANIS, A.; DECKER, E. A.; MCCLEMENTS, D. J. Inhibition of lipid oxidation by encapsulation of emulsion droplets within hydrogel microspheres. **Food Chemistry**, v. 132, n. 2, p. 766–772, 2012.
- MENEZES, C. R. DE.; BARIN, J. S.; CHICOSKI, A. J.; ZEPKA, L. Q.; JACOB-LOPES, E.; FRIES, L. L. M.; TERRA, N. N. Microencapsulação de probióticos: avanços e perspectivas. **Ciência Rural**, v. 43, n. 7, p. 1309–1316, 2013.

NAJAFI, M.N.; KADKHODAEI, R.; MORTAZAVI, S.A. Effect of drying process and wall material on the properties of encapsulated cardamom oil. **Food Biophys**, v. 6, p. 68-76, 2011.

PRAKASH, B.; KUJUR, A.; YADAY, A.; KUMAR, A.; SINGH, P.; DUBEY, N.K. Nanoencapsulation: An efficient technology to boost the antimicrobial potential of plant essential oils in food system. **Food Control**, v. 89, 2018.

PREMI, M.; SHARMA, H.K. Effect of different combinations of maltodextrin, gum arabic and serum protein protein on the encapsulation behavior and oxidative stability of vanilla oil (*Moringa oleifera*). **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 105, p.1232-1240, 2017.

ROSS, R. P., DESMOND, C., FITZGERALD, G. F., & STANTON, C. Overcoming the technological hurdles in the development of probiotic foods. **Journal of Applied Microbiology**, v. 98, n.6, p. 1410-1417, 2005.

SÁNCHEZ, F. M.; GARCÍA, F.; CALVO, P.; BERNALTE, M. J.; GONZÁLEZ-GÓMEZ, D. Optimization of broccoli microencapsulation process by complex coacervation using response surface methodology. **Innovative Food Science; Emerging Technologies**, v. 34, p. 243–249, 2016.

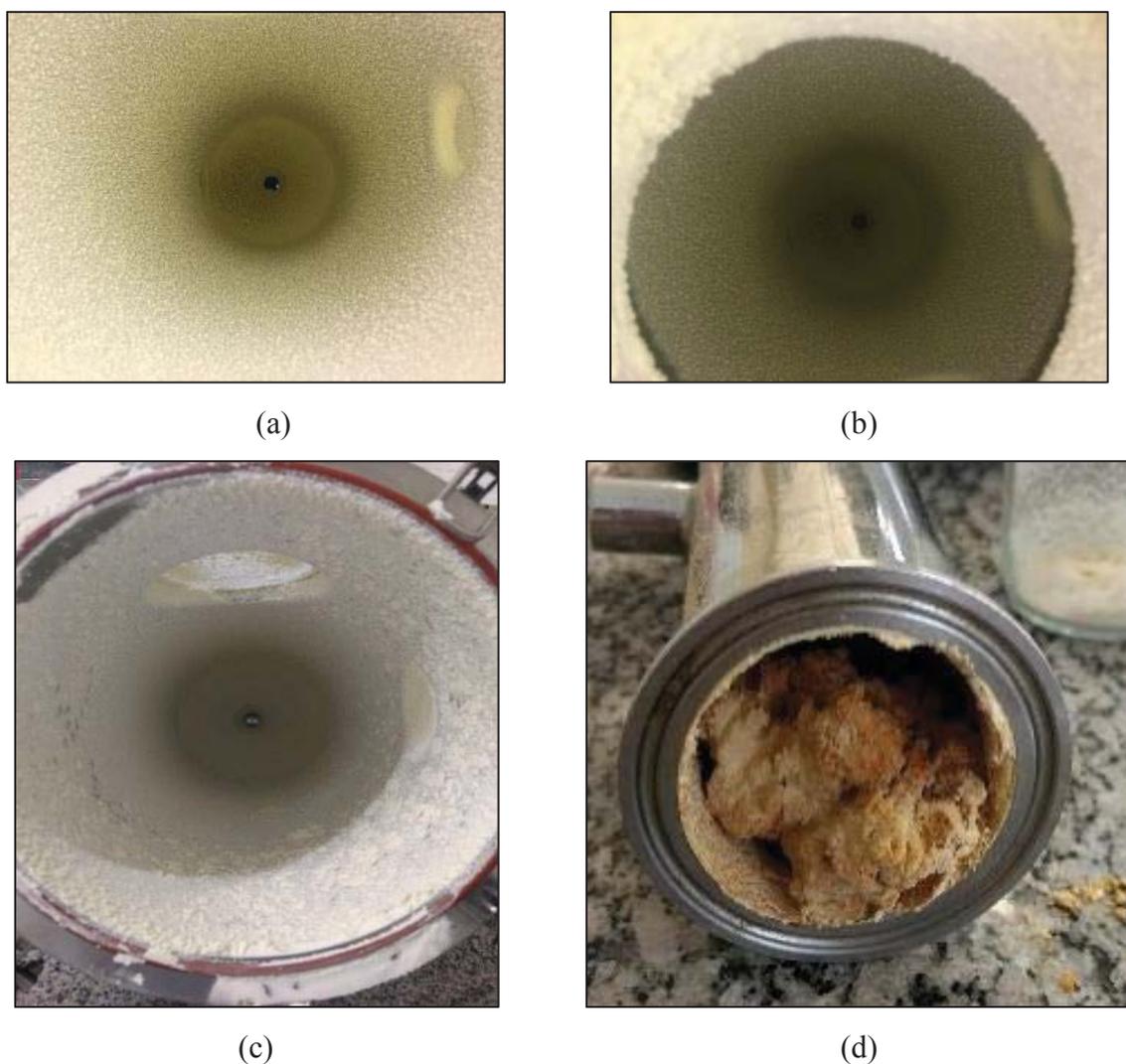
TEIXEIRA, P. C., CASTRO, M. H., MALCATA, F. X., & KIRBY, R. M. Survival of *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* following spray-drying. **Journal of Dairy Science**, v. 78, n. 5, p.1025-1031, 1995

TONON, Renata V.; GROSSO, Carlos RF; HUBINGER, Miriam D. Influence of emulsion composition and inlet air temperature on the microencapsulation of flaxseed oil by spray drying. **Food Research International**, v. 44, n. 1, p. 282-289, 2011.

APÊNDICE B – SECAGEM POR SPRAY DRYER, TAMANHO DE PARTÍCULA E PRODUTO FINAL

As amostras com quantidade de agente encapsulante menor que 1:50 (v/v) não finalizaram o processo, ocorreu a incrustação do pó na câmara de secagem e não houve rendimento de pó na saída do ciclone. A Figura 1 apresenta os resultados qualitativos dos experimentos de secagem.

Figura 1 - Secagem por *Spray dryer* da gordura de coco e soro de leite.



Legenda: (a) Gordura de coco:soro de leite (1:50 v/v); (b) Gordura de coco:soro de leite (1:20 v/v); (c) Gordura de coco:soro de leite (1:10 v/v) e (d) Gordura de coco:soro de leite (1:5 v/v).

Fonte: Autor (2018)

Figura 2 – Tamanho de partícula da amostra (1) soro de leite.

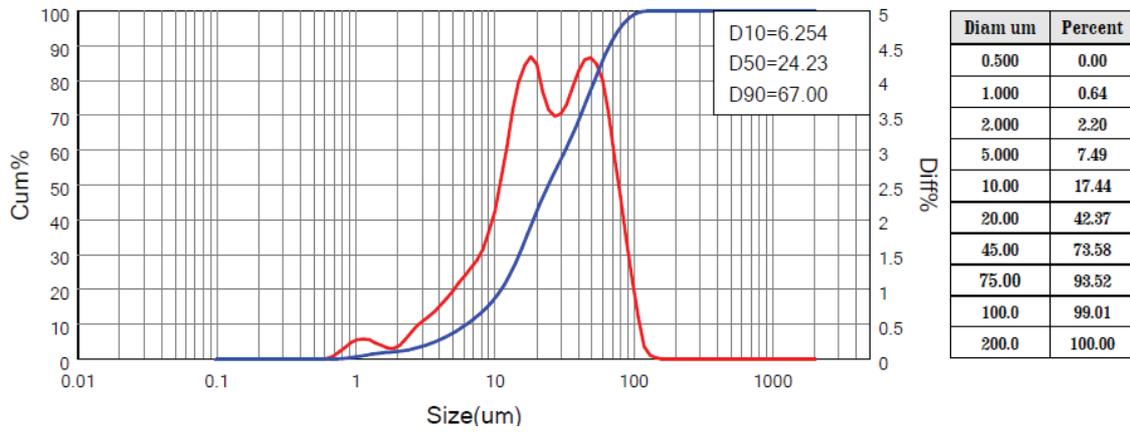


Figura 3 – Tamanho de partícula da amostra (2) gordura de coco:soro de leite.

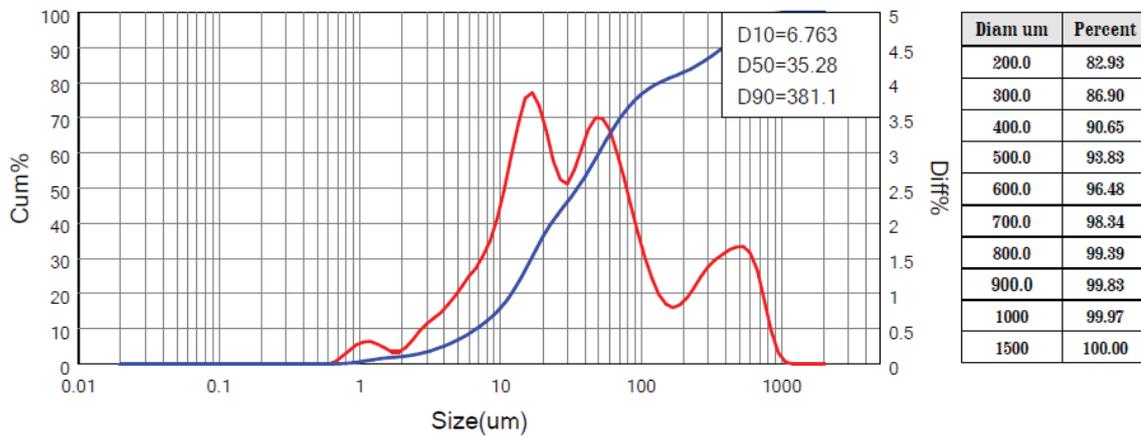


Figura 4 – Tamanho de partícula da amostra (4) whey fat comercial.

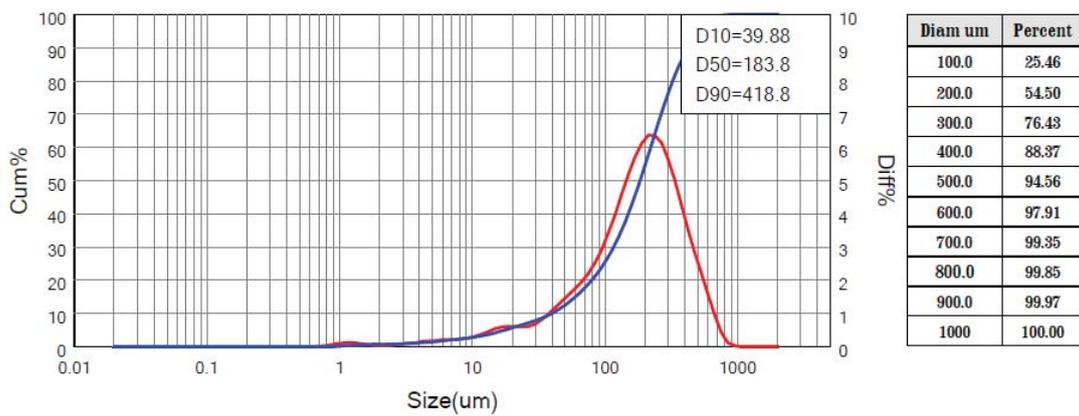


Figura 5 – Tamanho de partícula da amostra (7) gordura concentrada em pó.

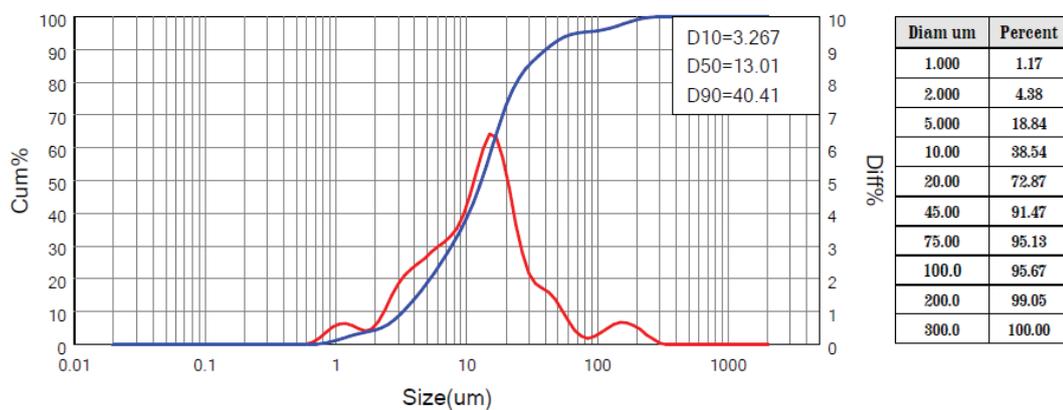


Figura 6 – Tamanho de partícula da amostra (8) gordura de coco:S+MD+GA.

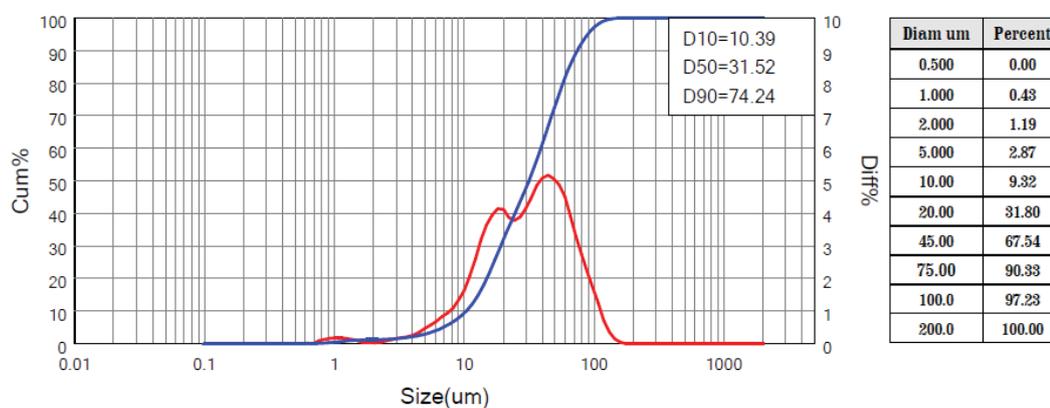


Figura 7 – Tamanho de partícula da amostra (10) gordura de coco:soro de leite, com adição de gordura concentrada em pó (1:1 m/m).

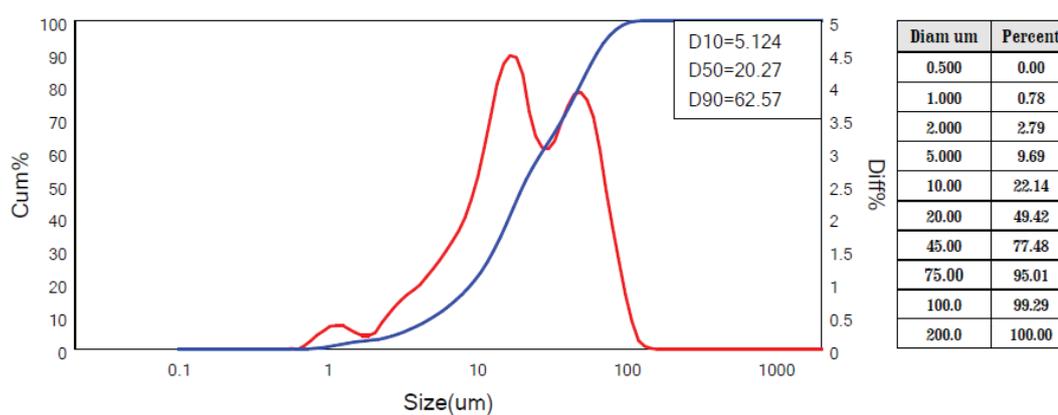


Figura 8 – Tamanho de partícula da amostra (11) gordura de coco:(Soro de leite+MD+GA) com adição de gordura concentrada em pó (1:1 m/m).

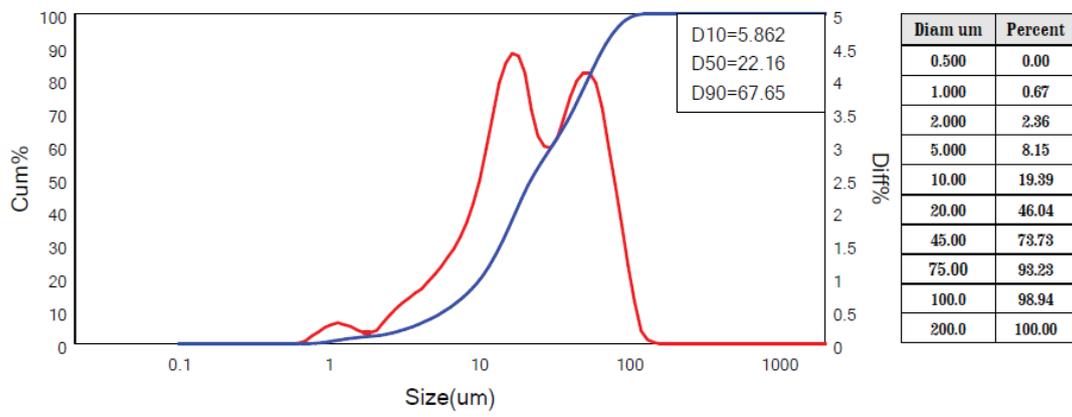


Figura 9 – Matérias primas e produto final desenvolvido.



APÊNDICE C - GRÁFICOS DAS ANÁLISES CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL E TERMOGRAVIMETRIA

As amostras 1, 2, 4, 5, 8 e 10 foram escolhidas, tendo como base os resultados de solubilidade e EE (%), comparando-as entre si.

As condições de análise foram as seguintes: massa da amostra aproximadamente 10,0 mg, em painéis de alumina e platina, dependendo a composição da amostra, utilizando uma panela vazia como referência; atmosfera da câmara de ar sintético na vazão de 100 mL/min, razão de aquecimento 10 °C/min, com faixa de temperatura de 20 a 600°C.

Figura 1 - Soro de leite em pó (padrão)

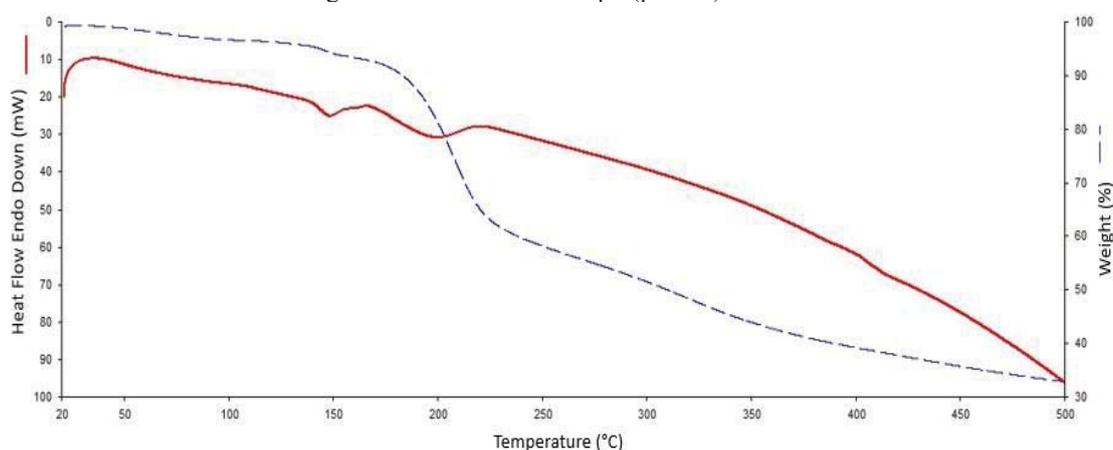


Figura 2 - Micropartículas de gordura de coco: soro de leite (1:3 m/m)

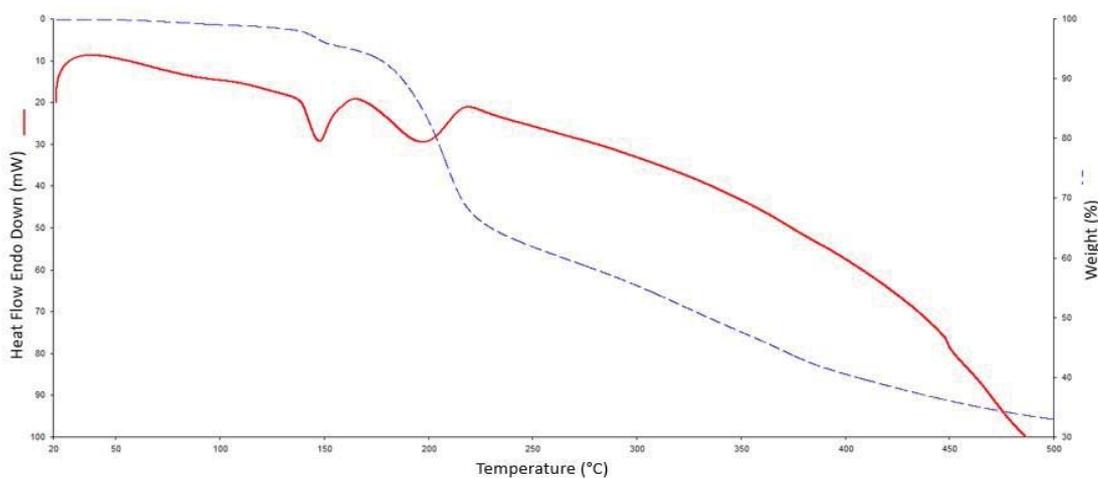


Figura 3 - *Whey fat* comercial

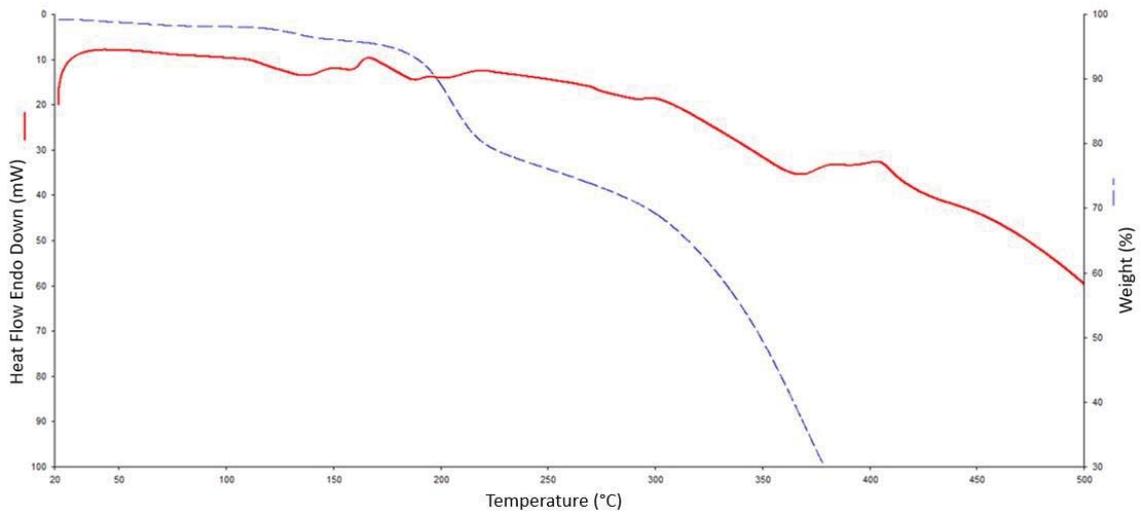


Figura 4 - Gordura de coco

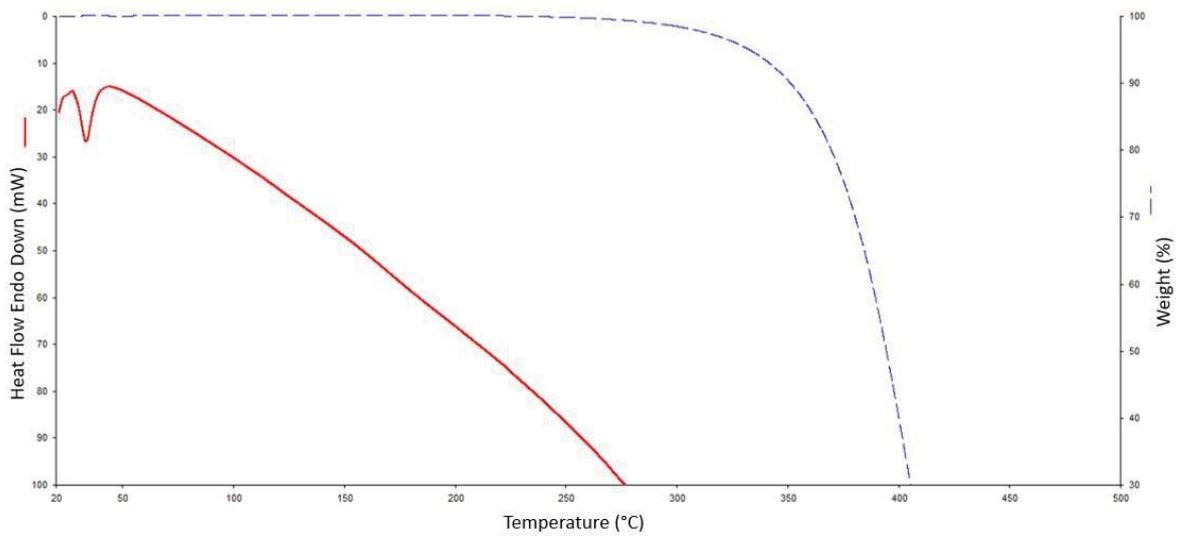


Figura 5 - Micropartículas de gordura de coco: (soro de leite +MD+GA) (1:3 m/m).

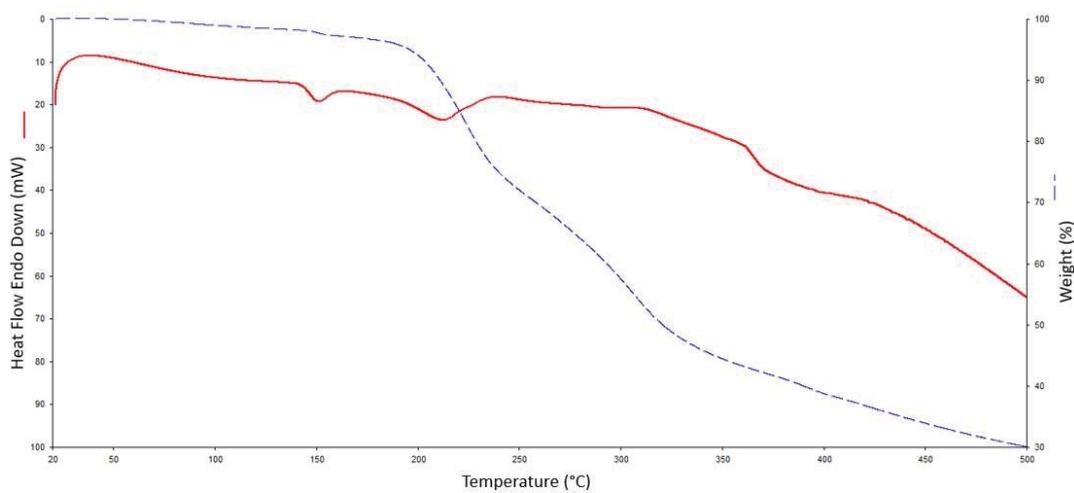


Figura 6 - Micropartículas de gordura de coco: soro de leite (1:3 m/m) + gordura concentrada em pó.

