



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

FRANCYLLA MILHOMENS NOGUEIRA MACIEL

ESTUDO DO PROCESSO DE MODIFICAÇÃO QUÍMICA DO AMIDO NA
FARINHA DE BANANA VERDE DA VARIEDADE NANICÃO (*Musa sp. AAA*)

BELEM

2014



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

FRANCYLLA MILHOMENS NOGUEIRA MACIEL

ESTUDO DO PROCESSO DE MODIFICAÇÃO QUÍMICA DO AMIDO NA
FARINHA DE BANANA VERDE DA VARIEDADE NANICÃO (*Musa sp. AAA*)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Prof^a. Dra. Lúcia de Fátima Henriques Lourenço (Orientadora)

Prof^a. Dra. Alessandra Santos Lopes (Co-orientadora)

BELÉM
2014

FRANCYLLA MILHOMENS NOGUEIRA MACIEL

ESTUDO DO PROCESSO DE MODIFICAÇÃO QUÍMICA DO AMIDO NA
FARINHA DE BANANA VERDE DA VARIEDADE NANICÃO (*Musa sp.* AAA)

BANCA EXAMINADORA:

Prof^a. Dra. Lúcia de Fátima Henriques Lourenço (PPGCTA/ITEC/UFPA -
Orientadora)

Dra. Ana Vânia Carvalho
(EMBRAPA/CPATU – Membro)

Prof. Dra. Kelly das Graças Fernandes Dantas
(Faculdade de Química/UFPA – Membro)

Prof. Dr. Rosinelson da Silva Pena
(FEA/ITEC/UFPA – Suplente)

I

DEDICATÓRIA

**Aos meus pais, Francisco Claudionor e
Alayla Maria.**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem Ele em nossas vidas, não somos ninguém e nem conseguiremos ir tão longe.

Agradeço aos meus pais, Francisco Claudionor e Alayla Maria, por toda a dedicação em todos esses anos de estudo e pelo apoio para que eu conseguisse alcançar os meus objetivos. Aos meus irmãos, Rafael e Rafaela Nogueira, pela paciência e carinho quando mais precisei. E agradeço imensamente à minha família paterna e materna pelo incentivo de todos.

Agradeço ao meu esposo, Renato Maciel, pelo grande incentivo, carinho, paciência e empenho para que eu pudesse me afastar do trabalho e me dedicasse à finalização do experimento no laboratório.

Agradeço às minhas amigas Erla Mathias, Márcia Souza, Tatiana Tolosa, Flávia Pires, Brenda Brito, Wanessa Araújo; aos amigos Rogério Migdon e Diego Aires, muito obrigada por toda a ajuda, que para mim foi de imensa valia.

Agradeço imensamente à minha orientadora, Lúcia de Fátima Henriques Lourenço, e à minha co-orientadora, Alessandra Santos Lopes, por aceitarem me orientar, por todo apoio, paciência e dedicação oferecida na finalização desse trabalho.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos e ao seu corpo docente, pela excelência e dedicação no ensino superior e nas pesquisas científicas, que faz com que a Universidade Federal do Pará seja referência em Ciência e Tecnologia de Alimentos na Amazônia, gerando profissionais capacitados e conhecimento para a sociedade.

Agradeço à Universidade Federal do Pará e ao Instituto de Tecnologia – ITEC da UFPA, por toda infraestrutura disponível para que eu conseguisse finalizar os experimentos. Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Enfim, a todos os que direta e indiretamente me auxiliaram na finalização deste trabalho e que não puderam ser citados, muitíssimo obrigada.

III

EPÍGRAFE

“Tudo deveria se tornar o mais simples possível, mas não simplificado”.

Albert Einstein

RESUMO

O amido nativo apresenta propriedades físico-químicas limitadas, restringindo sua aplicação em diversos produtos elaborados. Este trabalho teve como objetivo o estudo da modificação química do amido na farinha de banana verde (FBV) com emprego de diferentes concentrações de tripolifosfato de sódio (TPS) e temperatura de modificação, segundo um planejamento composto central. As variáveis de resposta estudadas foram: Cor Instrumental (parâmetros L^* , a^* , b^* , C^* e $^{\circ}H$), Índice de Absorção de Água (IAA), Índice de Solubilidade em Água (ISA), Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC), Teor de Fósforo e Grau de Substituição (GS). Observou-se que a fosfatação afetou a cor das amostras, resultando em farinhas mais escuras. Houve melhoria da absorção ($R^2 = 0,9403$) de água, embora a solubilidade tenha diminuído significativamente. Na análise de DSC ($R^2 = 0,7709$), houve percepção da diminuição da temperatura de pico (T_P), pois se observou que as amostras que apresentaram menores valores de T_P foram justamente as que utilizaram maiores concentrações de TPS à mesma temperatura de modificação, como exemplo, a FBVM 2 que apresentou um T_P de 59,4 °C, enquanto que a FBVM 1, apresentou um T_P de 67,6 °C, ambas modificadas à 145 °C, bem como a amostra FBVM 4, que apresentou um T_P de 39,8 °C, em detrimento à FBVM 3, que apresentou um T_P de 56,9 °C, ambas modificadas à 165 °C. A microscopia mostrou que a fosfatação afetou a estrutura dos grânulos de amido, pois houve formação de aglomerados e pastas, onde foi possível observar a superfície irregular dos grânulos aparentando descamação e alguns, com o formato quebrado. O método empregado nas concentrações e temperaturas estudadas gerou amostras com alto teor de fósforo residual, sendo este um fator limitante do ponto de vista da legislação vigente.

Palavras chave: farinha de banana verde; tripolifosfato de sódio; fosfatação; solubilidade.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Micrografia em mev de amido nativo de milho e de bananas das variedades nanicão e terra.....	17
Figura 2. Micrografia de dispersão de grânulos de amido de banana da variedade nanicão sob luz polarizada.	18
Figura 3. Fluxograma de obtenção da fbv.	30
Figura 4. Experimento de modificação química do amido.	32
Figura 5. Diagrama de Pareto para o parâmetro L*.....	42
Figura 6. Curvas de nível para o parâmetro L*.....	44
Figura 7. Superfície de resposta para o parâmetro L*.....	44
Figura 8. Diagrama de Pareto para o parâmetro A*.....	47
Figura 9. Curvas de nível para o parâmetro a*.....	48
Figura 10. Superfície de resposta para o parâmetro a*.....	48
Figura 11. Diagrama de Pareto para o parâmetro °H (ângulo <i>hue</i>).	53
Figura 12. Curvas de nível para o parâmetro °H.	54
Figura 13. Superfície de resposta para o parâmetro °H.	55
Figura 14. Diagrama de Pareto para o parâmetro IAA (g gel/g).	58
Figura 15. Curvas de nível para o parâmetro IAA (g gel/g).	59
Figura 16. Superfície de resposta para o parâmetro IAA (g gel/g).	60
Figura 17. Diagrama de Pareto para o parâmetro ISA (%).	63
Figura 18. Gráficos de calorimetria exploratória diferencial (DSC): A - Amostra FBV (padrão); B - Amostra 5,5% / 145°C.....	65
Figura 19. gráficos de calorimetria exploratória diferencial (DSC): A - Amostra 9,5% / 145 °C; B - Amostra 5,5% / 165°C.	66
Figura 20. Gráficos de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC): A - Amostra 9,5% / 165 °C; B - Amostra 4,67% / 155°C.	67
Figura 21. Gráficos de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC): A - Amostra 10,33% / 155 °C; B - Amostra 7,5% / 138°C.....	68
Figura 22. Gráficos de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC): A - Amostra 7,5% / 172 °C; B - Amostra 7,5% / 155°C.	69
Figura 23. Gráficos de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC): A - Amostra 7,5% / 155 °C; B - Amostra 7,5% / 155°C.	70
Figura 24. Diagrama de Pareto para o parâmetro DSC.	72
Figura 25. Curvas de nível para o parâmetro DSC.....	73
Figura 26. Superfície de resposta para o parâmetro DSC.....	73
Figura 27. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV): A - Amostra FBV (padrão); B - Amostra 5,5% / 145°C.....	75
Figura 28. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV): A - Amostra 9,5% / 145 °C; B - Amostra 5,5% / 165°C.	76
Figura 29. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV): A - Amostra 9,5% / 165 °C; B - Amostra 4,67% / 155°C.	77
Figura 30. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV): A - Amostra 10,33% / 155 °C; B - Amostra 7,5% / 138°C.	78

Figura 31. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV): A - Amostra 7,5% / 172 °C; B - Amostra 7,5% / 155°C.	79
Figura 32. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV): A - Amostra 7,5% / 155 °C; B - Amostra 7,5% / 155°C.	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição físico-química da FBV da variedade Nanicão processada sem casca e com casca.....	16
Tabela 2. Composição química da FBV da variedade Terra.	17
Tabela 3. Conteúdo de amido total (%) e amido resistente (%) de alguns produtos alimentícios.	22
Tabela 4. Planejamento composto central (2ª) com valores codificados para o estudo de modificação química por fosfatação.	31
Tabela 5. Caracterização físico-química da FBV obtida por secagem em leito fixo.....	36
Tabela 6. Resultado para a determinação de amido resistente para as amostras estudadas.	37
Tabela 7. Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o amido resistente.	38
Tabela 8. Efeito estimado, soma quadrática residual, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o amido resistente.....	38
Tabela 9. Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a variação do amido resistente.	39
Tabela 10. Dados dos parâmetros L*, a*, b*, C e °H para o padrão D65 das amostras de FBV e das farinhas modificadas.	40
Tabela 11. Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o parâmetro L*.....	40
Tabela 12. Efeito estimado, soma quadrática residual, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o parâmetro L*.	41
Tabela 13. Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a variação do parâmetro L*.....	43
Tabela 14. Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o parâmetro a*.....	46
Tabela 15. Efeito estimado, soma quadrática residual, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o parâmetro a*.	46
Tabela 16. Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a variação do parâmetro a*.....	47
Tabela 17. Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o parâmetro C*.....	50
Tabela 18. Efeito estimado, soma quadrática residual, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o parâmetro C*.	50
Tabela 19. Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a variação do parâmetro Chroma.	51
Tabela 20. Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o parâmetro °H (ângulo <i>hue</i>).	52
Tabela 21. Efeito estimado, soma quadrática residual, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o parâmetro °H (ângulo <i>hue</i>).	52
Tabela 22. Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a variação do parâmetro °H (ângulo <i>hue</i>).	53

VIII

Tabela 23. Valores médios de índice de absorção de água (IAA) e de índice de solubilidade em água (ISA) de amostras de FBV e FBVM.....	56
Tabela 24. Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o parâmetro IAA.	57
Tabela 25. Efeito estimado, soma quadrática residual, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o parâmetro iaa.....	57
tabela 26. análise de variância para os termos lineares e quadráticos dos fatores para o parâmetro IAA.	58
Tabela 27. Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o parâmetro ISA.	62
Tabela 28. Efeito estimado, soma quadrática residual, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o parâmetro ISA.....	62
Tabela 29. Análise de variância para os termos lineares e quadráticos dos fatores para o parâmetro ISA.	63
Tabela 30. Dados de DSC para a farinha de banana verde e para as amostras de farinhas de banana modificadas utilizando-se a concentração de 10%.	64
Tabela 31. Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o parâmetro DSC.	71
Tabela 32. Efeito estimado, soma quadrática residual, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o parâmetro DSC.....	71
Tabela 33. Análise de variância para os termos lineares e quadráticos dos fatores para o parâmetro DSC.	72
Tabela 34. Valores médios de sódio, fósforo e grau de substituição (GS) das amostras modificadas.	81

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 FARINHA DE BANANA VERDE (FBV)	15
2.2 AMIDO.....	17
2.3 COMPORTAMENTO DO AMIDO SUBMETIDO A TRATAMENTOS DE AQUECIMENTO E RESFRIAMENTO.....	18
2.4 AMIDO RESISTENTE (AR)	20
2.5 MODIFICAÇÃO DO AMIDO.....	23
2.6 MODIFICAÇÃO QUÍMICA DO AMIDO.....	24
2.7 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	27
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
3.1 OBTENÇÃO DA FARINHA DE BANANA VERDE (FBV).....	29
3.2 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DA FBV	30
3.3 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL PARA ELABORAÇÃO DE FARINHA DE BANANA VERDE MODIFICADA (FBVM)	31
3.4 ANÁLISE DE COLORIMETRIA.....	33
3.5 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (IAA) E ÍNDICE DE SOLUBILIDADE EM ÁGUA (ISA)	33
3.6 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)	34
3.7 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA	34
3.8 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE SÓDIO, TEOR DE FÓSFORO E DO GRAU DE SUBSTITUIÇÃO (GS).....	34
3.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS.....	35
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
4.1 CARACTERIZAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS DAFBV	36
4.1.1 Determinação de amido resistente (AR).....	37
4.2 COLORIMETRIA TRISTIMULUS DA FARINHA DE BANANA VERDE (FBV) E FARINHA DE BANANA VERDE MODIFICADA (FBVM)	39
4.2.1 Parâmetro L*	40
4.2.2 Parâmetro a*	45
4.2.3 Parâmetro b*	49
4.2.4 Parâmetro C* (Chroma)	49
4.2.5 Parâmetro °H (ângulo <i>hue</i>)	52
4.3 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (IAA) E ÍNDICE DE SOLUBILIDADE EM ÁGUA (ISA)	55
4.3.1 Parâmetro IAA	55
4.3.2 Parâmetro ISA	61

4.4 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)	64
4.5 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV).....	74
4.6 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE SÓDIO, TEOR DE FÓSFORO E DO GRAU DE SUBSTITUIÇÃO (GS).....	81
5. CONCLUSÃO.....	83
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85

1 INTRODUÇÃO

A banana (*Musa spp.*) é uma das frutas mais consumidas no mundo, onde o Brasil se enquadra como terceiro maior produtor mundial, conforme FAO (2009). A fruta no estágio verde é utilizada na forma de farinha para consumo, devido os seus efeitos benéficos à saúde promovidos pelos nutrientes que nela se encontram, como: vitaminas (B1, B2, nianina, ácido pantotênico, B6, D, E e K); minerais (potássio, fósforo, cálcio, magnésio, enxofre, nitrogênio, boro, cobre, manganês, zinco e ferro); amido, podendo alcançar de 55 a 93%, e em especial, a fração de amido resistente (AR) (BORGES, 2007; FASOLIN, et al., 2007; TORRES, et al. 2005).

O amido resistente difere do amido hidrolisável pelas enzimas no trato gastrointestinal, pois o primeiro resistente à digestão enzimática no intestino delgado, alcançando o intestino grosso, onde é parcialmente hidrolisado por bactérias (TEIXEIRA, et al. 1998; FREITAS; TAVARES, 2005; ELIASSON, 2006).

Uma grande variedade de produtos alimentícios tem ocasionado uma demanda crescente por amidos com propriedades físico-químicas modificadas, devido às pastas e géis de amido nativo apresentar propriedades físico-químicas limitadas, restringindo sua aplicação direta a uma gama relativamente pequena de produtos. Em função disso, o mercado de amidos vem crescendo e se aperfeiçoando nos últimos anos, levando à busca de produtos com características específicas que atendam às necessidades industriais (NASCIMENTO, 2006; SILVA, et al., 2006; SILVA, 2008).

Dessa forma, a produção de amidos modificados é uma alternativa que vem sendo desenvolvida há algum tempo com o objetivo de superar uma ou mais limitações dos amidos nativos, ampliando o seu uso nas aplicações industriais mediante tratamentos físicos e químicos (DANIEL, et al., 2006; BEMILLER; WHISTLER, 2009).

O amido modificado por via física, química ou enzimática, apresentam características próprias para atenderem necessidades de aplicações específicas nas indústrias. E em se tratando de modificações químicas, as pastas que resultam desse processo são estáveis, translúcidas e possuem uma menor tendência à retrogradação, além de poderem ser facilmente

processadas para que se obtenha condições desejáveis de textura, pH e resistência à temperatura, permitindo o uso como espessantes e agentes retentores de água em produtos à base de água e leite (TONELI; MURR; PARK, 2005; DANIEL, et al., 2006; LIMBERGER, et al., 2008).

A alteração dessas características acaba por promover a melhoria da funcionalidade dos amidos, como por exemplo, mudanças na viscosidade da pasta, estabilização da viscosidade, aumento da transparência dos géis, adesividade, estabilidade ao congelamento e descongelamento, dentre outros benefícios (NASCIMENTO, 2006; SILVA, et al., 2006; SILVA, 2008; BEMILLER; WHISTLER, 2009).

Este trabalho teve como objetivo avaliar o processo de modificação química do amido de banana verde da variedade Nanicão com tripolifosfato de sódio (TPS) visando à melhoria das propriedades funcionais do amido, onde foram avaliados os Índices de Absorção e Solubilidade em Água (IAA e ISA), Cor instrumental (L^* , a^* , b^* , C e °H), Grau de Substituição e Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 FARINHA DE BANANA VERDE (FBV)

A banana (*Musa spp.*) é uma das frutas mais consumidas no mundo, onde o Brasil se enquadra como terceiro maior produtor mundial com uma produção estimada de 30,6 milhões de toneladas de cachos de banana, ficando atrás da Índia e do primeiro da lista, China (FAO, 2009). O Pará destaca-se como quinto maior produtor brasileiro de banana, com uma produção média de 520.067 toneladas da fruta, sendo São Paulo o maior produtor brasileiro com produção de 1.386.016 de toneladas por ano (IBGE, 2012).

A banana é um alimento altamente energético, contendo cerca de 100 kcal/100 g de polpa. As principais vitaminas encontradas em bananas são B1, B2, niacina, ácido pantotênico, B6, e pequenas quantidades das vitaminas D, E e K (CARVALHO FILHO; MASSAGUER, 1997; FASOLIN, et al., 2007). Os frutos verdes são ricos em flavonoides e apresentam conteúdo significativo de amido, podendo corresponder de 55 a 93% do teor de sólidos totais e cerca de 14,5% de fibras. À medida que as bananas amadurecem, esse amido é convertido em açúcares, em sua maioria glicose, frutose e sacarose, dos quais 99,5 % são fisiologicamente disponíveis, ocorrendo redução de acidez e de adstringência (FASOLIN, et al., 2007; IZIDORO, 2007; BORGES; PEREIRA; LUCENA, 2009).

A farinha de banana verde (FBV) vem sendo sugerida para consumo devido aos efeitos benéficos à saúde promovidos pela presença de consideráveis quantidades de fibra dietética, entre elas o amido resistente (AR). Ambriz et al. (2008) utilizaram FBV da variedade Terra (*Musa AAB*) e o conteúdo de amido total encontrado foi de 76,8%, e o amido resistente de 30,4%. Fasolin et al. (2007) considerou a FBV como uma ótima alternativa para o enriquecimento de produtos alimentícios na tentativa de elevar seu valor nutricional em razão da banana verde possuir elevado teor de amido e, de potássio, bem como ótimo rendimento de processo, além da fruta verde ser considerada de fácil acesso à população e também por ser de baixo custo.

A farinha de banana é o produto obtido a partir da secagem natural ou artificial da fruta fatiada ou desestruturada (purê), até umidade final de 8 a 10%, seguida de moagem em moinho, acondicionamento e armazenamento. A farinha deve apresentar sabor suave, sem amargo ou adstringência, cor branca ou ligeiramente amarelada e odor característico, e deve conter de 70 a 85% de carboidrato (FOLEGATTI; MATSUURA, 2004).

Ambriz et al. (2008) utilizaram banana verde da variedade Terra (*Musa AAB*) para o preparo de FBV. As mesmas foram descascadas e em seguida fatiadas, para depois serem imersas em solução antioxidante de ácido cítrico a 0,3% (p/v) para cessar o escurecimento enzimático. As fatias foram secas a 50 °C e depois desintegradas utilizando moinho, peneirada utilizando malha de 0,028 mm, embalada e armazenada a 25 °C.

Na Tabela 1 é apresentada a composição físico-química da FBV da variedade Nanicão (*Musa acuminata*) com casca e sem casca.

Tabela 1. Composição físico-química da FBV da Variedade Nanicão processada sem casca e com casca.

Parâmetros (g/100 g)	Farinha de banana verde (FBV)	
	Sem casca	Com casca
Proteínas	4,85 ± 0,16	4,68 ± 0,25
Lipídios	0,87 ± 0,05	0,51 ± 0,04
Cinzas	2,95 ± 0,80	2,52 ± 0,32
Carboidratos	91,33 ± 0,30	92,32 ± 0,23
Amido total*	68,02 ± 0,4	73,07 ± 0,11
Amido resistente*	33,86 ± 0,56	40,14 ± 0,34
Fibra total*	22,91 ± 0,11	13,89 ± 0,10

Fonte: Bezerra et al. (2013).

Garcia et al.(2006) utilizaram banana verde da Variedade Terra para produzir FBV com intuito de utilizá-la na elaboração de pão para avaliar a sua composição, digestibilidade e composição físico-química da farinha obtida. Os resultados da composição da FBV, obtidos por Garcia et al. (2006), encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Composição química da FBV da variedade Terra.

Parâmetros (%)	Valores (bs)
Cinzas	4,7
Lipídeos	2,7
Proteínas	3,3
Carboidratos	89,3
Fibra dietética*	14,5
Amido total*	73,4
Amido digerível*	56,3
Amido resistente*	17,5

Valores em base seca, exceto umidade. Fator de conversão para proteínas de 5,85; bs = base seca.

Fonte: Garcia et al. (2006).

2.2 AMIDO

O amido é o principal polissacarídeo de armazenamento de plantas superiores, presente nos tecidos sob forma de grânulos intracelulares, e constitui uma fonte de energia essencial para muitos organismos, especialmente para o homem. Do ponto de vista nutricional, o amido é o componente majoritário da dieta humana (BRASIL, 2005; PÉREZ; MONTEALVO; ACEVEDO, 2006).

Nas células vegetais, o amido é constituído de grânulos insolúveis, com estrutura semicristalina, localizados nos cloroplastos das folhas verdes e nos amiloplastos, sendo estes últimos os órgãos de armazenamento nas sementes e tubérculos (NASCIMENTO, 2006).

Amidos nativos de milho e de bananas das variedades Nanicão e Terra são apresentados em Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) na Figura 1.

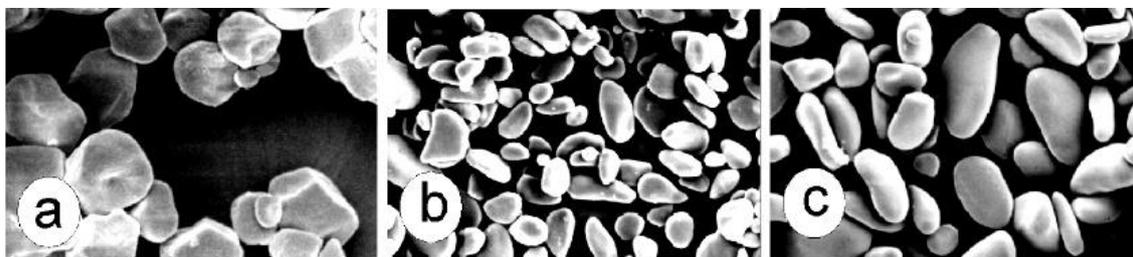


Figura 1. Micrografia em mev de amido nativo de milho e de bananas das variedades nanicão e terra: a) amido de milho (330x); b) amido de banana var. Nanicão (330x); c) amido de banana var. Terra (FREITAS; TAVARES, 2005).

Os amidos são compostos por dois tipos de polímeros de glicose: amilose e amilopectina. A amilose consiste de cadeias lineares de centenas a poucos milhares de resíduos de glicose unidos por ligações α -1,4. A amilopectina é uma cadeia de resíduos de glicose unidos por ligação α -1,4, altamente ramificada por ligações do tipo α -1,6 e de grau de polimerização muito maior que a amilose. Em geral, o amido deve sua funcionalidade a esses dois componentes moleculares, assim como a organização física das macromoléculas na estrutura do grânulo (NASCIMENTO, 2006; PÉREZ; MONTEALVO; ACEVEDO, 2006).

Observa-se na Figura 2, grânulos de amido de banana da variedade Nanicão, sob luz polarizada, evidenciando a cruz de malta. Esse fenômeno indica a organização molecular no grânulo de amido, decorrente de zonas alternadas de regiões cristalinas e amorfas.



Figura 2. Micrografia de dispersão de grânulos de amido de banana da variedade nanição sob luz polarizada (BEZERRA, ET AL., 2013).

Características da estrutura de amidos tais como: teor de amilose, distribuição de comprimento de cadeias ramificadas de amilopectinas, teores de mono-éster fosfato, fosfolipídios e lipídios, distribuição de tamanho de grânulos, estruturas cristalinas e arquitetura granular, afetam suas propriedades funcionais (CEREDA, 2001).

2.3 COMPORTAMENTO DO AMIDO SUBMETIDO A TRATAMENTOS DE AQUECIMENTO E RESFRIAMENTO

De acordo com Bemiller e Huber (2010), os grânulos de amido não danificados são insolúveis em água fria, mas podem absorver água de modo reversível, ou seja, eles podem inchar um pouco e, então, retornar ao seu tamanho original ao secar.

Durante o aquecimento de uma suspensão de amido, inicialmente ocorre o inchamento dos grânulos até uma temperatura que supere o limite de gelatinização (na qual ocorre o rompimento do grânulo), evidenciando quebra das pontes de hidrogênio, e conseqüentemente as moléculas de água se ligam aos grupos hidroxila liberados e os grânulos continuam se expandindo. Além disso, ocorre simultaneamente lixiviação de compostos solúveis (principalmente amilose) e ruptura total dos grânulos, principalmente com a aplicação de forças de cisalhamento (agitação, homogeneização), ocasionando a perda contínua da integridade física do grânulo de amido (SOUZA; ANDRADE, 2000; CEREDA, 2001; BEMILLER; HUBER, 2010).

A gelatinização do amido é um processo endotérmico e a Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC), que mede a entalpia e a temperatura de gelatinização, é a determinação analítica utilizada para realizar o acompanhamento do processo. O aumento da mobilidade é percebido nas regiões amorfas, que naturalmente possuem natureza vítrea. Durante o aquecimento do amido em excesso de água (pelo menos 60%), até alcançar a temperatura específica (T_g , temperatura de transição vítrea), ocorre na região amorfa dos grânulos, uma transição do estado vítreo ao estado elástico, ocasionando a formação de uma pasta de amido (SOUZA; ANDRADE, 2000; CEREDA, 2001; SILVA, et al., 2001; BEMILLER; HUBER, 2010).

A transição vítrea se refere ao intervalo de temperatura em que o material polimérico muda de um estado rígido para um estado mais flexível, mas geralmente é associada a um único valor – a temperatura de transição vítrea (T_g). Abaixo da faixa de transição há relativamente pouca movimentação molecular e os segmentos de cadeia se apresentam como se estivessem congelados, sendo capazes ainda de vibrar nestas posições fixas, mas com poucas chances de rearranjos (LEITE; MURR; PARK, 2005; AZEREDO, 2005).

O amido da banana da variedade Nanicão, quando isolado, inicia o processo de gelatinização a uma temperatura de 70,3 °C, apresenta um pico do processo em torno de 74,7 °C e termina a uma temperatura de 86,1 °C. Por

outro lado, o amido da banana da variedade Nanica inicia o processo de gelatinização a uma temperatura de 68,9 °C, com pico em torno de 73,4 °C, terminando a 83,6 °C. Para a banana nanicão a temperatura a partir a qual a viscosidade apresenta um aumento significativo é de 51,8 °C e para a banana nanica é de 51,15 °C (TADINI; DITCHFIELD, 2006).

Ao se resfriar a pasta de amido formada durante o aquecimento, algumas moléculas se restabelecem parcialmente formando um precipitado ou um gel, fenômeno denominado de retrogradação. Essas ligações aumentam em número durante o repouso da pasta, tornando a rede de gel mais firme e compacta. Novamente, a transição vítrea tem influência sobre o fenômeno de retrogradação, pois ocorre uma transição gradual de um amido amorfo a um amido parcialmente cristalino e retrogradado (CEREDA, 2001; LEITE; MURR; PARK, 2005; BEMILLER; HUBER, 2010).

A retrogradação de amidos cozidos envolve os dois constituintes poliméricos, amilose e amilopectina, sendo que a amilose passa por retrogradação com muito mais rapidez que a amilopectina. Já a retrogradação da amilopectina envolve principalmente a associação de suas ramificações externas e requer um tempo muito maior, em comparação à retrogradação da amilose, o que a torna importante, no processo de envelhecimento que ocorre com o tempo, após o resfriamento do produto (BEMILLER; HUBER, 2010).

2.4 AMIDO RESISTENTE (AR)

O amido é potencialmente digerível pelas enzimas no trato gastrointestinal e absorvido na forma de glicose no intestino delgado. Porém, o conceito de amidos totalmente hidrolisáveis por amilases foi modificado já que uma fração de amidos de diversas origens resiste à digestão enzimática no intestino delgado e alcançam o intestino grosso, onde serão parcialmente hidrolisados por bactérias. Esta fração é denominada de amido resistente (AR) (ELIASSON, 2006; FREITAS; TAVARES, 2005).

Segundo Salgado et al. (2005) e Tovar et al. (2006), o European Flair Concertet Action on Resistant Starch (EURESTA) definiu o AR como a soma do amido e produtos de degradação do amido que não são digeridos pelas enzimas humanas de indivíduos saudáveis. No EURESTA, grupo de trabalho

da Comunidade Europeia, foram abordados temas como desenvolvimento de técnicas para análises, a produção tecnológica de amido resistente, assim como os efeitos fisiológicos e a contribuição energética.

A presença de AR na elaboração de produtos é de interesse tanto para a indústria de alimentos quanto para o consumidor devido aos efeitos benéficos que podem ser proporcionados à saúde de quem consome. O AR possui um valor calórico reduzido e é caracterizado por apresentar um efeito fisiológico comparável à fibra dietética. A fibra dietética (FD) é um termo coletivo para classificar uma variedade de substâncias vegetais que resistem à digestão pelas enzimas gastrointestinais no organismo humano. Nos anos 80, a FD foi identificada como uma substância importante de uma dieta saudável e a indústria alimentícia procurou maneiras sensorialmente agradáveis de aumentar o conteúdo de fibras nos alimentos (GARCIA, et al., 2006; CORDENUNSI; SHIGA; LAJOLO, 2008).

Segundo Tovar et al. (2006), tanto o AR como a FD favorecem a produção de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), o baixo pH no colón, diminuição do tempo de trânsito intestinal, assim como incremento na massa de bolo fecal. Como os microrganismos ali presentes fermentam carboidratos indigeríveis, os AGCC, que incluem os ácidos acético, propiônico e butírico, são liberados no lúmen do colón ocasionando decréscimo do pH.

Segundo Salgado et al. (2005), o decréscimo do pH, originado pela fermentação, favorece a vasodilatação e aumenta a absorção de água e sais, melhorando os sintomas de indivíduos com diarreias. Adicionalmente, o amido resistente contribui para o aumento do volume fecal, modificação da microflora do cólon, aumento da excreção fecal de nitrogênio.

Conforme Pereira (2007), a fermentação do AR produz maior proporção de ácido butírico no intestino grosso e isso está associado ao bom estado fisiológico do colón. Este fenômeno tem papel importante na regulação do crescimento e função de células intestinais, o que permite suprimir a proliferação de células tumorais devido à redução do pH no intestino grosso.

O amido resistente conta com diferentes frações, contribuindo com o total de amido indigerível nos alimentos. Dessa forma, o mesmo é constituído por três tipos de amido: o tipo 1, representa o grânulo de amido fisicamente inacessível na matriz do alimento, devido a sua forma física impedir o acesso

da amilase pancreática, com consequente diminuição da ingestão do amido. O AR tipo 2 é caracterizado pelas diferentes estruturas cristalinas que compõe os grânulos de amido, exercendo influência na digestibilidade deles, tornando-a mais lenta no trato gastrointestinal. O amido resistente do tipo 3 é formado a partir da sua retrogradação, quando este encontra-se em repouso durante o resfriamento após a gelatinização. Quando o gel esfria e envelhece, o amido gelatinizado forma novamente uma estrutura parcialmente cristalina, insolúvel e resistente à digestão enzimática, porém diferente da conformação inicial (LOBO; LEMOS SILVA, 2003; WALTER; SILVA; EMANUELLI, 2005).

Segundo Tovar et al. (2006), as características do amido resistente tipo 3 são comuns em produtos de panificação, sendo que o total de amido resistente pode ter um incremento através do processo térmico. Na Tabela 3 é apresentada a quantidade de amidos total e resistente contidos em alguns alimentos.

Tabela 3. Conteúdo de amido total (%) e amido resistente (%) de alguns produtos alimentícios (base seca).

Espécies	Amido Total (%)	Amido Resistente (%)
Farinha de feijão preto	36	3
FBV (<i>Musa spp.</i>)	75	57
Farinha de trigo branco	81	2
Lentilhas (cozidas por 20 minutos)	54	9
Pão branco	77	1
Pão integral	60	1
Flocos de milho	78	3
Flocos de aveia	65	2

Nota: não foi especificada a variedade de banana verde utilizada.

Fonte: Adaptado de Tovar et al. (2006).

Os três tipos de amido resistente podem coexistir em um mesmo alimento. Assim, uma refeição contendo feijão apresenta os tipos 1 e 3 e em bananas verdes são encontrados os tipos 1 e 2. Um amido resistente tipo 4 vem sendo evidenciado quando o amido sofre modificações químicas, físicas ou enzimáticas. Com o desenvolvimento de métodos de processamentos sofisticados, tem sido possível obter amidos que podem atender necessidades específicas da indústria de alimentos. Esses produtos incluem os amidos substituídos quimicamente com grupamentos ésteres, fosfatos e éteres, bem

como amidos com ligações cruzadas, sendo estes também resistentes à digestão no intestino delgado (WALTER; SILVA; EMANUELLI, 2005; IZIDORO, 2011).

2.5 MODIFICAÇÃO DO AMIDO

Uma grande variedade de novos produtos alimentícios e de outros usos industriais do amido tem ocasionado uma demanda crescente por amidos com propriedades físico-químicas modificadas, devido às propriedades limitadas dos amidos nativos. Em função disso, o mercado de amidos vem crescendo e se aperfeiçoando nos últimos anos, levando à busca de produtos com características específicas que atendam às necessidades industriais (NASCIMENTO, 2006; SILVA, et al., 2006; SILVA, 2008).

Assim, a elaboração de amidos modificados vem sendo uma alternativa desenvolvida há algum tempo com o objetivo de superar uma ou mais limitações dos amidos nativos, ampliando o seu uso nas aplicações industriais mediante tratamentos físicos e químicos (DANIEL, et al., 2006; BEMILLER; WHISTLER, 2009).

Os tratamentos de modificação aplicados no amido promovem alterações que melhoram sua funcionalidade, como: mudanças na viscosidade da pasta, estabilização da viscosidade, aumento da transparência dos géis, adesividade, estabilidade ao congelamento e descongelamento, diminuição da retrogradação, formação de filmes, adição de grupos hidrofóbicos e introdução de poder emulsificante (NASCIMENTO, 2006; SILVA, et al., 2006; SILVA, 2008; BEMILLER; WHISTLER, 2009). Dessa forma, classificam-se as modificações de amido em enzimáticas, físicas e químicas (CEREDA; VILPOUX; DEMIATE, 2003).

De acordo com Cereda, Vilpoux e Demiate (2003), os amidos modificados alimentícios são amidos nos quais uma ou mais de suas características originais tenham sido modificadas mediante processo tecnológico adequado, através de tratamento físico ou enzimático e/ou químico, compreendendo:

- Modificação por meios físicos: qualquer tratamento de amido sob ação de calor, pressão ou mecânica, no estado seco ou úmido, inclusive fracionamento;
- Modificação por meios enzimáticos: qualquer tratamento de amido, no estado seco ou úmido, em presença de pequenas quantidades de enzimas, a fim de obter produtos solubilizados ou parcialmente hidrolisados;
- Modificação por meios químicos: qualquer tratamento de amido, no estado seco ou úmido, na presença de uma ou mais substâncias químicas que venham a ser expressamente autorizadas pela Comissão de Normas e Padrões Alimentares.

Existem vários tipos de tratamentos que podem ser utilizados para obtenção de amido modificado, dentre os quais citam-se alguns, incluindo físicos, químicos e enzimáticos: eterificação, esterificação, decomposição (hidrólise ácida ou enzimática e oxidação) ou tratamentos físicos do amido utilizando calor ou umidade. Estas modificações alteram profundamente a gelatinização dos grânulos de amido nativo, assim como seu comportamento quando na forma de pasta e sua retrogradação (MUCCILLO, 2009; MEIRA, 2012).

2.6 MODIFICAÇÃO QUÍMICA DO AMIDO

A Portaria ANVISA nº 540, de 27 de outubro de 1997, diz que os teores de fósforo em amidos monoéster fosfato (ex.: esterificação com tripolifosfato de sódio), devem seguir a recomendação do Codex Alimentarius, que preconiza teor de fósforo residual máximo de até 0,4%, exceto para amido de batata e trigo que podem ter teores de até 0,5%. Com base nas determinações do Codex Alimentarius, os amidos fosfatados obtidos com fosfatação de 20 e 40 minutos, encontram-se adequados para uso em alimentos (LIMBERGER, 2006).

Os processos de modificações químicas em geral usam tanque de aço inox com parede simples. As reações para obtenção de amido modificado quimicamente dividem-se em três grupos:

- Reações de pastas de amido gelificadas em água;
- Reações com amido granular seco ou semi-seco;
- Reações em suspensões de amido granular em água.

Conforme Cereda, Vilpoux e Demiate (2003), os amidos quimicamente modificados são também chamados de amidos derivatizados, e nesses amidos são incluídos aqueles nos quais a estrutura química da unidade glicopiranosil do amido foi alterada. Podem ser obtidos através de oxidação, esterificação e eterificação de amidos nativos. As modificações químicas do amido dependem da reatividade de seus radicais na molécula de glicose, monômero do polímero amido.

No processo de elaboração de amidos modificados por tratamento químico, através de ligações cruzadas, o polímero é fortalecido através de reações das hidroxilas de amido com um agente modificante, como o trimetafosfato de sódio (SMTP), fosfato monossódico (SOP), tripolifosfato de sódio (TPS), epiclорidrina (EPI), oxicloreto de fósforo (POCl_3), cloreto de vinil e misturas de ácido adípico e anidrido acético, que são os principais agentes usados para amidos reticulados de grau alimentícios. A reação inicia na quebra da ligação O–H para formar o amido aniônico (St-O^-) (DANIEL, et al., 2006; MEIRA, 2012).

Os fosfatos de amido têm sido agrupados em duas classes: amido monofosfato e amido difosfato (ligação cruzada), que são convencionalmente produzidos em reação direta com sais de orto, meta, piro, ou tripolifosfato e oxicloreto de fósforo. Um dos processos mais utilizados de modificação química com amidos naturais é a fosfatação usando o tripolifosfato de sódio (TPS - $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$), por ser um sal relativamente barato, pela facilidade de execução do processo e pela produção de pastas com boa claridade. A modificação química que utiliza este sal origina amidos monoéster fosfato, fosfatos de monoamido ou monoéster sódio fosfato de amido. Esse amido é preparado por impregnação e reação de grânulos de amido com soluções do reagente TPS, com objetivo de introduzir cadeias laterais ou radicais de éster na amilose linear (PASCHALL, 1964; DANIEL, et al., 2006; LIMBERGER, et al., 2008; MUCCILLO, 2009; PEREIRA; ASCHERI, 2011).

As características dos amidos fosfatados estão diretamente relacionadas com o Grau de Substituição (GS) da molécula de amido, sendo o binômio tempo-temperatura fator decisivo para a modificação química apropriada. O GS é definido como o número médio de grupos hidroxila esterificados ou eterificados, por unidade de monossacarídeo, ou seja, o número de radicais que foram introduzidos na amilose linear. Tanto os polissacarídeos ramificados como os não ramificados, compostos por unidades hexopiranosil, possuem uma média de três grupos hidroxila por unidade monomérica. Portanto, o GS máximo para o amido ou para a celulose é de 3,0, embora o máximo possível não seja permitido em produtos usados como ingredientes alimentícios. Nos Estados Unidos, o máximo GS permitido com grupos fosfatos é de 0,002 (DANIEL, et al., 2006; SILVA, 2008; MUCCILLO, 2009; BEMILLER; HUBER, 2010; PEREIRA; ASCHERI, 2011).

A acetilação do amido até o máximo permitido é de $GS = 0,09$. Nesse valor a acetilação promove no amido melhoria na clarificação da pasta, diminuição da temperatura de gelatinização e estabilidade à retrogradação. Os amidos monoéster fosfato podem ser utilizados na confecção de pastas claras e estáveis ao congelamento/descongelamento. A esterificação com fosfatos diminui a temperatura de gelatinização. A viscosidade da massa geralmente é alta e pode ser controlada por variação da concentração de reagentes, tempo de reação, temperatura e pH (DANIEL, et al., 2006; BEMILLER; HUBER, 2010).

Conforme Batista, Silvia e Liberato (2010), a introdução de grupos fosfatos nas cadeias de amido causa a repulsão entre as cadeias e aumenta sua hidratação, além de permitir a obtenção de amidos com alto teor de amido resistente, cuja importância mencionada anteriormente, está no fato de apresentar um efeito fisiológico comparável à fibra dietética.

Os sais de fósforo adicionados durante a modificação não se ligam em sua totalidade ao amido. Diante disso, após o processo de fosfatação é possível submeter o amido à diálise, realizada com o objetivo de remover os sais de fósforo não ligados que não contribuem para as alterações das características reológicas do amido e ainda, o torna impróprio para aplicação em alimentos, devido ao alto teor de fósforo (PASCHALL, 1964; LIMBERGER, 2006).

2.7 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O planejamento experimental consiste de um conjunto de ensaios, baseados em critérios científicos e estatísticos, que tem por objetivo estudar as várias influências nos resultados de um sistema ou processo, podendo fornecer o máximo de informação útil realizando-se um número mínimo de experimentos, com melhor qualidade de informação nos resultados (BARROS NETO; SCARMINO; BRUNS, 2003). O planejamento permite eficiência e economia no processo experimental e o uso de métodos estatísticos na análise dos dados obtidos resulta em objetividade científica nas conclusões (CALADO; MONTGOMERY, 2003).

A metodologia de superfícies de resposta (ou RSM, de *Response Surface Methodology*) é uma técnica de otimização baseada em planejamentos fatoriais, e que tem sido usada com grande sucesso na modelagem de diversos processos industriais.

Na análise dos efeitos principais e de interação, alguns testes estatísticos são utilizados, como:

- Valor t : mede o quão “grande” é o efeito em relação ao erro padrão;
- Valor p : probabilidade de significância baseado no valor t calculado. Pequenos valores de p estão associados a grandes valores de t , isto implica que o coeficiente é muito maior que o erro padrão. Geralmente são considerados significativos os efeitos que apresentam $p \leq 0,05$, que corresponde a um limite de confiança de 95%.

O método mais usado para avaliar numericamente a qualidade do ajuste de um modelo é a Análise de Variância (ANOVA), que tem como objetivo a comparação da variação devido a mudança dos níveis das variáveis, bem como a variação devida ao acaso (erro experimental) ou resíduos. Dessa forma, para um nível de confiança de 95%, qualquer variável que apresente um valor de p menor de 0,05 (5%) é considerada significativa. Outro fator relevante é o coeficiente de determinação (R^2) do modelo, que fornece o valor da variação total em torno da média explicada pela regressão (BARROS NETO; SCARMINO; BRUNS, 2003).

De acordo com o valor obtido pela razão das médias quadráticas da regressão e dos resíduos, pode-se verificar se a regressão é estatisticamente significativa ou não (Teste F). Da mesma forma que para a regressão, também é importante o cálculo da razão das médias quadráticas da falta de ajuste e do erro puro. O valor obtido, se não for estatisticamente significativo, evidencia o ajuste do modelo avaliado (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2003).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 OBTENÇÃO DA FARINHA DE BANANA VERDE (FBV)

O experimento foi conduzido na Universidade Federal do Pará – UFPA, através do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos nas dependências do Laboratório de Fontes Amiláceas e Produtos Açucarados – LAFAMI, durante o período de novembro de 2012 a junho de 2013. A matéria prima utilizada para elaboração da FBV foi da Variedade Nanicão (*Musa sp.* AAA), também denominada como *Musa cavendish* ou Grupo triploide Acuminata AAA (FRUTISÉRIES, 2000), fornecida pela Fruteira Silva – Mercado da CEASA-PA (Centrais de Abastecimento do Estado do Pará S.A.), localizado em Belém – PA.

As bananas foram retiradas da penca e submetidas a pré-lavagem, higienização e lavagem. Posteriormente à lavagem, os frutos com a casca passaram pela etapa de fatiamento com cerca de 1 cm de espessura, as quais foram imediatamente submersas em solução de ácido cítrico a 0,8%, por 30 minutos para inativação enzimática (AMBRIZ, et al. 2008; SILVA; ROSA; VILAS BOAS, 2009).

Após imersão em ácido cítrico, as fatias foram distribuídas em bandejas de alumínio e secas à 40°C, para evitar a gelatinização do amido nessa fase. O processo de secagem foi interrompido quando a umidade final alcançou valor em torno de 9%. As fatias secas foram trituradas em moinho (Tecnal, TE-650) e a farinha obtida foi armazenada em sacos poliamida e embalada a vácuo, sendo conservada em temperatura ambiente (25°C) e em local seco.

O fluxograma de obtenção de farinha de banana verde pode ser visualizado na Figura 3:

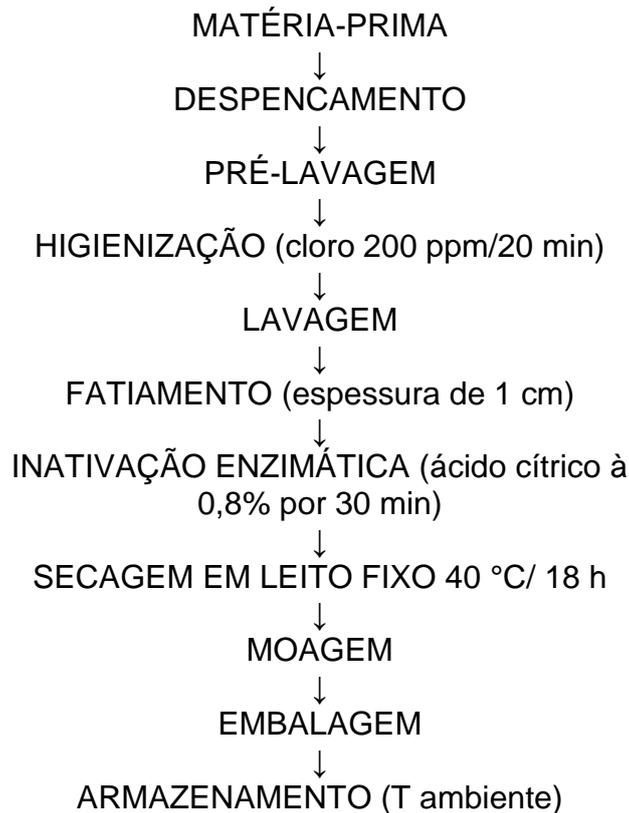


Figura 3. Fluxograma de obtenção da fbv.

3.2 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DA FBV

As análises realizadas para caracterização físico-química da FBV foram: o pH foi determinado por meio de potenciômetro da marca Hanna Instruments de acordo com o método 943.02 da AOAC (1997); a umidade foi realizada por gravimetria de acordo com o método 934.06 da AOAC (1997); as cinzas foram determinadas conforme método 940.26 da AOAC (1997); as proteínas foram determinadas pelo nitrogênio total, empregando-se a técnica de Kjeldahl, de acordo com o método 920.152 da AOAC (1997), utilizando-se o fator de 6,25 para conversão do nitrogênio em proteína bruta; o teor de lipídios foi determinado por extração em Soxhlet de acordo com método 31.4.02 da AOAC (1997); o amido resistente foi determinado no Laboratório de Análises – LABCAL (Departamento de Ciências de Alimentos) na Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, de acordo com o método 2002,02 da AACC (2005).

3.3 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL PARA ELABORAÇÃO DE FARINHA DE BANANA VERDE MODIFICADA (FBVM)

O processo de modificação química do amido de FBV foi realizado seguindo-se um planejamento composto central de 2² constituído por quatro ensaios lineares nos níveis -1 e +1, quatro ensaios axiais ($\alpha = 1,414$) e três repetições no ponto central. Foram empregadas como variáveis independentes: concentração do reagente TPS e temperatura de modificação. As variáveis dependentes estudadas foram: Teor de amido resistente, Cor Instrumental (parâmetros L*, a*, b*, C* e h), Índice de Absorção de Água (IAA), Índice de Solubilidade em Água (ISA), Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) com diluição de 10% (p/v), determinação do Grau de Substituição (GS). O planejamento experimental resultou em 11 ensaios, como pode ser observado na Tabela 4 (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2003).

Tabela 4. Planejamento composto central (2^a) com valores codificados para o estudo de modificação química por fosfatação.

Ensaio	Planejamento codificado		Planejamento Real	
	C	T	C	T
FBVM 1	-1	-1	5,5	145
FBVM 2	+1	-1	9,5	145
FBVM 3	-1	+1	5,5	165
FBVM 4	+1	+1	9,5	165
FBVM 5	-1,414	0	4,67	155
FBVM 6	+1,414	0	10,33	155
FBVM 7	0	-1,414	7,5	138
FBVM 8	0	+1,414	7,5	172
FBVM 9	0	0	7,5 (PC)	155 (PC)
FBVM 10	0	0	7,5 (PC)	155 (PC)
FBVM 11	0	0	7,5 (PC)	155 (PC)

C = concentração do reagente % (g/100g); T = temperatura de modificação (°C); (PC) = ponto central.

A modificação do amido na farinha de banana verde ocorreu através de reações no amido granular seco contido na farinha, conforme metodologia de Paschall (1964), com modificações. Utilizou-se as concentrações de 5,5%, 7,5% e 9,5% de TPS (Na₅P₃O₁₀), onde para cada 100 g de farinha de banana verde foi acrescentado 325 mL de água destilada, formando uma solução aquosa que foi agitada por 30 minutos em agitador mecânico e filtrada a vácuo

com auxílio de funil de Büchner. O material filtrado foi seco durante 24 horas até atingir 10% de umidade em temperatura de 40 °C.

Após a secagem, o material filtrado foi triturado em moinho e a farinha resultante foi distribuída em recipientes de alumínio e submetida a diferentes temperaturas nos valores de 145, 155 e 165°C por 20 minutos.

Após esse tratamento, a farinha foi resfriada e lavada com água destilada. Para cada 20 g de farinha foram adicionados 200 mL de água destilada, e a solução foi agitada por 15 minutos, recuperando a torta por meio de filtração a vácuo. Esse procedimento foi repetido 3 vezes para cada farinha modificada, a fim de que o reagente utilizado pudesse ser eliminado na lavagem, diminuindo o fósforo residual na amostra. Conforme o *Codex Alimentarius*, não se permite teores de fósforo residual acima de 0,4% para amido modificado do tipo amido monoéster fosfato. Ao finalizar as lavagens, a massa obtida da lavagem e filtração de cada farinha foi seca em estufa com circulação de ar em temperatura de 40°C. As imagens do experimento podem ser visualizadas na Figura 4.



Figura 4. Experimento de modificação química do amido.

3.4 ANÁLISE DE COLORIMETRIA

A determinação da cor instrumental foi realizada no Laboratório de Agroindústria da EMBRAPA, através do colorímetro da marca HUNTER LAB e modelo COLOR QUEST XE. Analisou-se as amostras FBV e FBVM pelo método de colorimetria *tristimulus* e os parâmetros analisados foram L^* , a^* e b^* , C^* e ângulo *hue*, da escala Hunter (CTL^* , a^* , b^* , C^* e $^{\circ}H$). Os resultados foram determinados seguindo o padrão D65 (luz do dia) e 10° (ângulo do observador).

Nesta representação, L^* indica o fator brilho, que pode variar de uma escala de 0 (totalmente preto) a 100 (totalmente branco). O matiz (tonalidade) é representado pelas coordenadas de cromaticidade a^* e b^* , sendo a^* definida pelo eixo que varia entre o verde (-60) e o vermelho (60), com valores negativos refletindo a predominância do verde e, valores positivos, predominância do vermelho. A coordenada b^* , define o eixo que varia entre o azul (-60) e o amarelo (60), com valores negativos de predominância no azul e valores positivos, predominantemente no amarelo.

O C^* (Chroma) consiste na saturação da cor (intensidade) e pode ser utilizada para distinção entre uma cor fraca e uma cor forte, representando a pureza de uma cor em relação ao cinza (direção radial). Valores próximos a zero são indicativos de cores neutras (branco e/ou cinza) e valores ao redor de 60 expressam cores vívidas ou intensas. O ângulo *hue* (direção angular) ou ângulo de tonalidade cromática, como o nome diz, representa a tonalidade de cor da amostra, e conforme o CIELAB define a cor vermelha como 0 e $360^{\circ}H$, amarelo como $90^{\circ}H$, verde como $180^{\circ}H$ e azul como $270^{\circ}H$ (FERNANDES, et al., 2010; MONDENESE, 2011).

3.5 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (IAA) E ÍNDICE DE SOLUBILIDADE EM ÁGUA (ISA)

As análises de índice de absorção de água (IAA) e de índice de solubilidade em água (ISA) foram realizadas de acordo com metodologia proposta por Anderson et al. (1969).

3.6 CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC)

As amostras de farinha de banana verde e modificadas foram submetidas a DSC, sendo a análise executada em equipamento da marca SHIMADZU, modelo DSC-60. Foram utilizadas suspensões aquosas de 10% (m/v) das farinhas, onde para cada amostra, retirou-se uma alíquota que variou entre 9,5 e 10,5 µg. A amostra foi inserida em microcadinho de alumínio, que logo após foi selado, devido a amostra ser aquosa. Usou-se ar sintético numa faixa de temperatura de 30 a 100 °C, com rampa de aquecimento de 10 °C.min⁻¹ conforme Garcia et al. (1996).

3.7 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA

As amostras de FBV e FBVM foram submetidas a análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV), em microscópio eletrônico modelo ZEISS DSM 940 A, no laboratório de Geologia da UFPA.

3.8 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE SÓDIO, TEOR DE FÓSFORO E DO GRAU DE SUBSTITUIÇÃO (GS)

O teor de sódio na farinha *in natura* e na farinha modificada foi determinado por espectrometria de absorção atômica em forno de chama pelo método 985.35 (AOAC, 1995). A determinação do teor de fósforo total foi feita conforme método espectrofotométrico na região do visível pelos métodos 969.31 e 986.24 (AOAC, 1995).

O Grau de Substituição (GS) do amido na farinha modificada foi determinado em função do teor de fósforo diferencial em base seca, através da equação abaixo, sugerida por Paschall (1964).

$$\text{Grau de Substituição (GS)} = \frac{162P}{3100 - 80P - 29,7Na}$$

Onde:

P= percentual de fósforo (base seca);

Na= percentual de sódio (base seca).

3.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, Metodologia de Superfície de Resposta - MSR e ajuste de modelos de regressão lineares e não-lineares, com auxílio do programa Statistica® versão 7.0 (STATSOFT INC., 2004).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS DAFBV

Os resultados obtidos para as análises físico-químicas da farinha de banana verde (FBV) estão expostos na Tabela 5.

Tabela 5. Caracterização físico-química da FBV obtida por secagem em leito fixo.

Parâmetros físico-químicos	Média (bs) ± desvio padrão
Cinzas (%)	3,89 ± 0,04
Proteínas (%)	4,83 ± 0,11
Lipídios (%)	1,08 ± 0,06
Carboidratos	90,20 ± 0,14
Energia (kcal/100 g)	389,84

A umidade obtida para a FBV foi de 8,66% e encontra-se de acordo com o valor exigido pela legislação vigente (BRASIL, 2005) que estabelece como padrão um valor máximo de 15% de umidade em farinhas.

O teor médio de cinzas da FBV (Tabela 5) foi mais elevado que outras fontes como trigo (1,75% para farinha integral, máximo de 0,385% para farinha especial e 0,850% para farinha comum), farinha de fubá (valor máximo permitido de 2%), para farinha de mandioca (valor máximo permitido de 2%) e para farinha de arroz (valor máximo permitido de 2%), no entanto esse limite máximo definido pela legislação é aplicado para qualificar o grau de moagem da farinha trigo e evitar que, especialmente as cascas, possam ser usadas em maior quantidade configurando uma provável adulteração. O valor considerável de cinzas deve-se provavelmente ao fato da matéria-prima ser considerada uma ótima fonte em minerais como potássio, fósforo total, magnésio, cálcio, manganês, zinco, enxofre, nitrogênio, boro, cobre e ferro (FAZOLIN, et al., 2007; BORGES, et al., 2010); além ter sido processada com a casca, pois conforme Bezerra et al. (2013) é uma alternativa de enriquecer mais a farinha em fibras como celulose insolúvel e hemicelulose. A utilização da casca evita também desperdícios dos resíduos orgânicos.

Os teores médios de proteínas e lipídios da FBV também foram semelhantes quando comparados a valores de outros autores, que trabalharam

com FBV com casca, como Bezerra et al. (2013) que encontraram teores de 4,85% e 0,87%, respectivamente; Pereira (2007) relatou valores médios de proteínas e lipídios de 4,76% e 0,38%, respectivamente. Fazolin et al.(2007) encontraram valores semelhantes para variedade Nanica, 4,54% de proteínas e 1,89% para teor de lipídios. Garcia et al. (2006), em pesquisas com a FBV da variedade Prata, relataram teores de 3,3% e 2,7%, respectivamente.

O valor de carboidratos totais (Tabela 5) foi de 90,20% e foi considerado próximo ao encontrado por Bezerra et al. (2013), que trabalharam com bananas verdes da variedade Nanicão com casca e sem casca e encontraram valores de 91,33% para bananas com casca e 92,32% para sem casca, ambos os valores determinados em base seca. Torres et al. (2005) encontraram 91,70% de carboidratos para farinha de banana da mesma variedade. Borges, Pereira e Lucena (2009) trabalharam com banana da variedade Prata e encontraram o valor de carboidratos de 90,72% (base seca).

4.1.1 Determinação de amido resistente (AR)

A seguir os resultados obtidos para a análise de amido resistente da farinha de banana verde (FBV) e das farinhas modificadas (FBVM) disponíveis na Tabela 6.

Tabela 6. Resultado para a determinação de amido resistente para as amostras estudadas.

Ensaio	Amostras (Conc./Temp.)	Média (%)
	FBV (padrão)	49,8
FBVM 1	5,5%/145°C	25,04
FBVM 2	9,5%/145°C	18,51
FBVM 3	5,5%/165°C	13,88
FBVM 4	9,5%/165°C	3,99
FBVM 5	4,7%/155°C	7,96
FBVM 6	10,3%/155°C	17,78
FBVM 7	7,5%/138°C	5,30
FBVM 8	7,5%/172°C	3,90
FBVM 9	7,5%/155°C (PC)	33,33
FBVM 10	7,5%/155°C (PC)	25,17
FBVM 11	7,5%/155°C (PC)	18,54

C = concentração do reagente (%); T = temperatura de modificação (°C); (PC) = ponto central.

Os resultados da análise estatística realizada para os dados experimentais do amido resistente são apresentados nas Tabelas 7 e 8, onde foram considerados o erro puro e a soma quadrática residual. Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação são significativos no nível de 95% de confiança ($p \leq 0,05$) ou valores próximos e estão apresentados em negrito.

Tabela 7. Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o amido resistente.

Fatores	Efeito estimado	Erro puro	t(2)	Significância estatística (p)
Efeitos principais				
Concentração (L)	-0,6337	5,238768	-0,12097	0,914774
Concentração (Q)	-9,4990	6,236185	-1,52320	0,267161
Temperatura (L)	-6,9159	5,238768	-1,32015	0,317623
Temperatura (Q)	-17,7715	6,236185	-2,84974	0,104237
Efeito de interação				
Concentração (L) x Temperatura (L)	-1,6800	7,408178	-0,22678	0,841668

(L) = linear; (Q) = quadrático.

Tabela 8. Efeito estimado, soma quadrática residual, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o amido resistente.

Fatores	Efeito estimado	Soma quadrática residual	t(5)	Significância estatística (p)
Efeitos principais				
Concentração (L)	-0,6337	6,185423	-0,10245	0,922378
Concentração (Q)	-9,4990	7,363074	-1,29008	0,253462
Temperatura (L)	-6,9159	6,185423	-1,11810	0,314345
Temperatura (Q)	-17,7715	7,363074	-2,41359	0,060595
Efeito de interação				
Concentração (L) x Temperatura (L)	-1,6800	8,746848	-0,19207	0,855245

(L) = linear; (Q) = quadrático.

A Tabela 7 mostra que somente o efeito Temperatura (Q) foi significativa, com limite de confiança de 89,58% ($p=0,1042$). Na Tabela 8, o efeito apresentou significância estatística no limite de 93,94% ($p=0,0606$), e também foi considerado significativo. Dessa forma, considerando-se o erro puro e eliminando-se os efeitos não significativos, obteve-se a análise de variância (ANOVA) onde verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste, conforme a Tabela 9.

Tabela 9. Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a variação do amido resistente.

Fonte de variação	SQ	GL	MQ	F _{calculado}	F _{tabelado}	R ²
Regressão	346,5804	1	346,5804	5,1207	5,12	0,3626
Resíduos	609,1406	9	67,6823			
Falta de ajuste	499,3784	7	71,3398	1,2998	19,35	
Erro puro	109,7622	2	54,8811			
Total	955,7211	10				

Como pode-se observar na Tabela 9, o $F_{\text{calculado}}$ foi igual o F_{tabelado} , mas segundo McCullagh (1980) para que a regressão seja considerada útil para fins preditivos, o valor de $F_{\text{calculado}}$ deve ser, pelo menos, quatro a cinco vezes maior que o F_{tabelado} . Referente ao $F_{\text{calculado}}$ para a falta de ajuste, esse deve ser sempre menor que o F_{tabelado} , pois o contrário indica que os dados não estão bem ajustados ao modelo determinado.

O valor de F_{tabelado} para a falta de ajuste foi 14,89 vezes maior que o $F_{\text{calculado}}$, no entanto, o valor de $F_{\text{calculado}}$ para a regressão foi igual ao F_{tabelado} , evidenciando que o modelo ajustado não pode ser considerado preditivo. Observando ainda o coeficiente de determinação (R^2), o valor obtido para esse foi de 0,3626, onde indica que o modelo explica somente 36,26% da variação dos dados experimentais, constatando mais uma vez que o modelo não pode ser considerado para fins preditivos.

Com relação aos valores obtidos para a determinação de amido resistente, Tabela 6, esses foram bastante distintos. Acredita-se que a lavagem das farinhas influenciou nos valores finais de AR, de forma que ele foi lixiviado durante a lavagem, que tinha como objetivo a diminuição dos teores de sódio e fósforo residuais.

4.2 COLORIMETRIA TRISTIMULUS DA FARINHA DE BANANA VERDE (FBV) E FARINHA DE BANANA VERDE MODIFICADA (FBVM)

Os valores médios dos parâmetros L^* , a^* , b^* , C e °H são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Dados dos parâmetros L*, a*, b*, C e °H para o padrão D65 das amostras de FBV e das farinhas modificadas.

Ensaio	Amostras (C/T)	L*	a*	b*	C*	°H
	FBV (padrão)	73,22	2,45	12,31	12,48	78,76
FBVM 1	5,5%/145°C	69,46	3,03	11,40	11,89	74,98
FBVM 2	9,5%/145°C	70,26	2,94	11,11	11,49	75,28
FBVM 3	5,5%/165°C	68,17	2,88	10,81	11,23	73,93
FBVM 4	9,5%/165°C	55,22	4,27	11,97	12,72	70,03
FBVM 5	4,7%/155°C	68,45	3,10	11,08	11,51	74,60
FBVM 6	10,3%/155°C	69,35	2,94	11,07	11,46	75,08
FBVM 7	7,5%/138°C	69,43	2,87	10,93	11,33	75,55
FBVM 8	7,5%/172°C	64,67	3,71	11,94	12,51	72,75
FBVM 9	7,5%/155°C (PC)	66,58	3,22	11,04	11,48	73,69
FBVM 10	7,5%/155°C (PC)	66,75	2,90	10,60	10,96	74,36
FBVM 11	7,5%/155°C (PC)	69,39	3,06	11,22	11,55	74,78

C = concentração do reagente (%); T = temperatura de modificação (°C); (PC) = ponto central.

4.2.1 Parâmetro L*

Os resultados da análise estatística realizada para os dados experimentais do parâmetro L* são apresentados nas Tabelas 11 e 12, onde foram considerados o erro puro e a soma quadrática residual. Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação são significativos no nível de 95% de confiança ($p \leq 0,05$) ou valores próximos e estão apresentados em negrito.

Tabela 11. Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o parâmetro L*.

Fatores	Efeito estimado	Erro puro	t(2)	Significância estatística (p)
Efeitos principais				
Concentração (L)	-2,6617	1,1019	-2,4156	0,1370
Concentração (Q)	0,2690	1,3116	0,2051	0,8564
Temperatura (L)	-5,6238	1,1019	-5,1037	0,0363
Temperatura (Q)	-1,9315	1,3116	-1,4725	0,2787
Efeito de interação				
Concentração (L) x Temperatura (L)	-6,9966	1,5582	-4,4902	0,0461

(L) = linear; (Q) = quadrático.

Tabela 12. Efeito estimado, soma quadrática residual, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o parâmetro L*.

Fatores	Efeito estimado	Soma quadrática residual	t(5)	Significância estatística (p)
Efeitos principais				
Concentração (L)	-2,6617	2,1665	-1,2285	0,2738
Concentração (Q)	0,2690	2,5790	0,1043	0,9209
Temperatura (L)	-5,6238	2,1665	-2,5957	0,0484
Temperatura (Q)	-1,9315	2,5790	-0,7489	0,4876
Efeito de interação				
Concentração (L) x Temperatura (L)	-6,9966	3,0637	-2,2837	0,0712

(L) = linear; (Q) = quadrático.

Como observado nas Tabelas 11 e 12, foram significativos no nível de 95% de confiança os efeitos: temperatura (L) e a interação concentração (L) e temperatura (L), considerando o erro puro (Tabela 11); e a temperatura (L) significativa, considerando a soma quadrática residual (Tabela 12).

O efeito estimado mostra o quanto cada variável influencia na resposta estudada, pois quanto maior for o seu valor maior será sua influência. O efeito com sinal positivo mostra que o aumento da variável ocasiona um aumento do valor da resposta para os parâmetros linear e quadrático. O sinal negativo do efeito, para o parâmetro linear, denota a diminuição da resposta quando ocorre um aumento da variável. Já para os parâmetros quadráticos, os efeitos positivos e negativos indicam qual a orientação da concavidade do gráfico gerado na superfície de resposta (parábola), onde o efeito positivo significa que o gráfico terá a concavidade posicionada para cima (região de mínimo) e o negativo terá a concavidade posicionada para baixo (região de máximo). A seguir observa-se o Diagrama de Pareto na Figura 5.

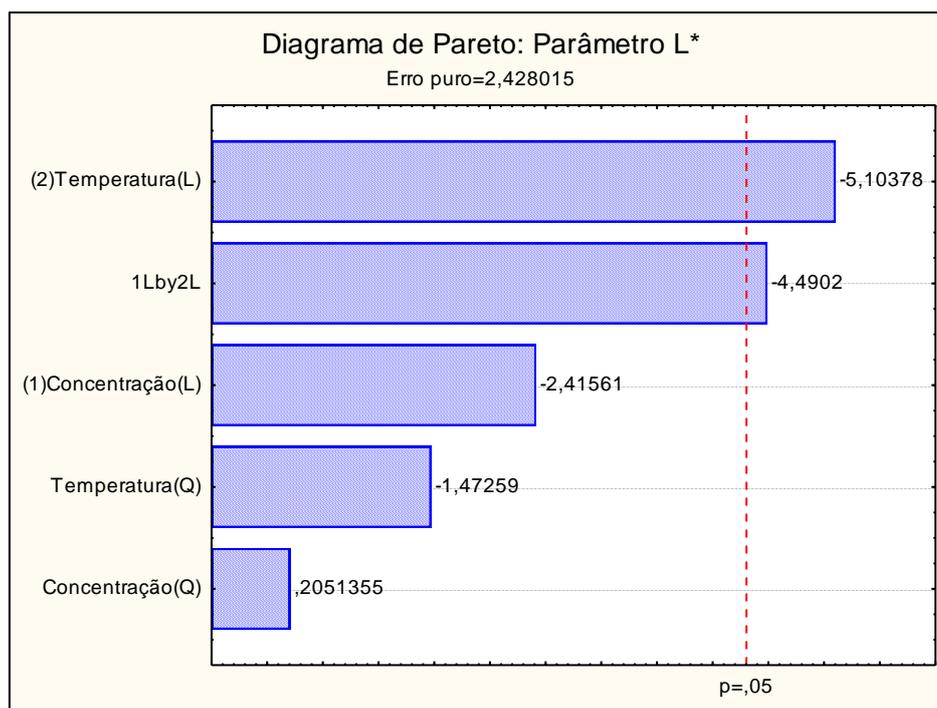


Figura 5. Diagrama de Pareto para o parâmetro L*.

Os valores ao lado dos retângulos (Figura 5) representam os valores da estatística de teste t , obtidos na tabela dos efeitos principais para o erro puro (Tabela 11). O valor de t indica a grandeza do efeito em relação ao erro (desvio), ou seja, a variável terá maior probabilidade de ser significativa quanto maior for o seu valor. O Diagrama de Pareto apresenta de forma rápida e clara, os efeitos que são estatisticamente importantes. Os efeitos que estiverem à direita da linha vermelha no gráfico, são considerados significativos no nível de 95% de confiança ($p \leq 0,05$) e de acordo com a Figura 5, a Temperatura (L) foi o efeito de maior influência na variação do Parâmetro L*.

Dentre todas as amostras estudadas no processo de modificação, a amostra FBVM 2 obteve o maior valor de L* de 70,26, e a amostra que apresentou menor L*, foi a FBVM 4 apresentando o valor de 55, 22. A concentração do reagente TPS utilizada para a obtenção da amostra FBVM 2 foi a mesma utilizada para a obtenção da FBVM 4, mas a temperatura não foi a mesma, tendo o valor de T (°C) aumentado de 145 °C (FBVM 2) para 165°C (FBVM 4), sofrendo um acréscimo de $\Delta T = 20^\circ\text{C}$.

Esse efeito pode ser explicado através do gráfico de Pareto (Figura 5), onde verifica-se que o termo da temperatura(L) foi o que exerceu maior

influência na resposta. Observando o gráfico, percebe-se que o valor do termo foi negativo, significando que, toda vez que se aumenta a temperatura, esse acréscimo tende a influenciar negativamente o parâmetro L^* , resultando em farinhas menos claras.

A partir dos efeitos significativos, observando-se a Tabela 11, onde se considerou o erro puro, eliminou-se os efeitos não significativos para se obter a análise de variância (ANOVA) dos pontos experimentais, onde verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste no nível de 95% de confiança, utilizando o teste F, como observado na Tabela 13.

Tabela 13. Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a variação do parâmetro L^* .

Fonte de variação	SQ	GL	MQ	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado}	R^2
Regressão	112,20	2	56,095	6,654	4,46	0,6246
Resíduos	67,45	8	8,43			
Falta de ajuste	62,59	6	10,43	4,296	19,33	
Erro puro	4,86	2	2,43			
Total	179,65	10				

Como observado na Tabela 13, o valor de F_{tabelado} para a falta de ajuste foi 4,5 vezes maior que o $F_{\text{calculado}}$, evidenciando que o modelo se ajustou. No entanto, o valor de $F_{\text{calculado}}$ para a regressão foi somente 1,5 vezes maior que o F_{tabelado} , evidenciando que o modelo ajustado não pode ser considerado preditivo. Observando ainda o coeficiente de determinação (R^2), o valor obtido para esse foi de 0,6246, onde indica que o modelo explica somente 62,46% da variação dos dados experimentais, constatando mais uma vez que o modelo não pode ser considerado para fins preditivos.

A seguir as curvas de nível na Figura 6 e o gráfico de superfície de resposta na Figura 7.

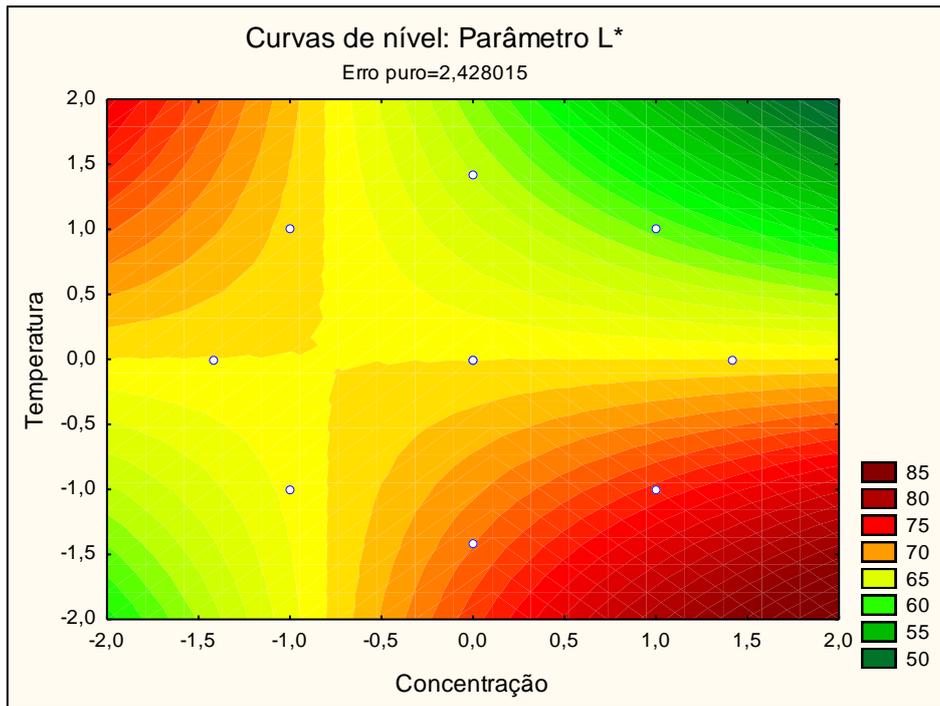


Figura 6. Curvas de nível para o parâmetro L*.

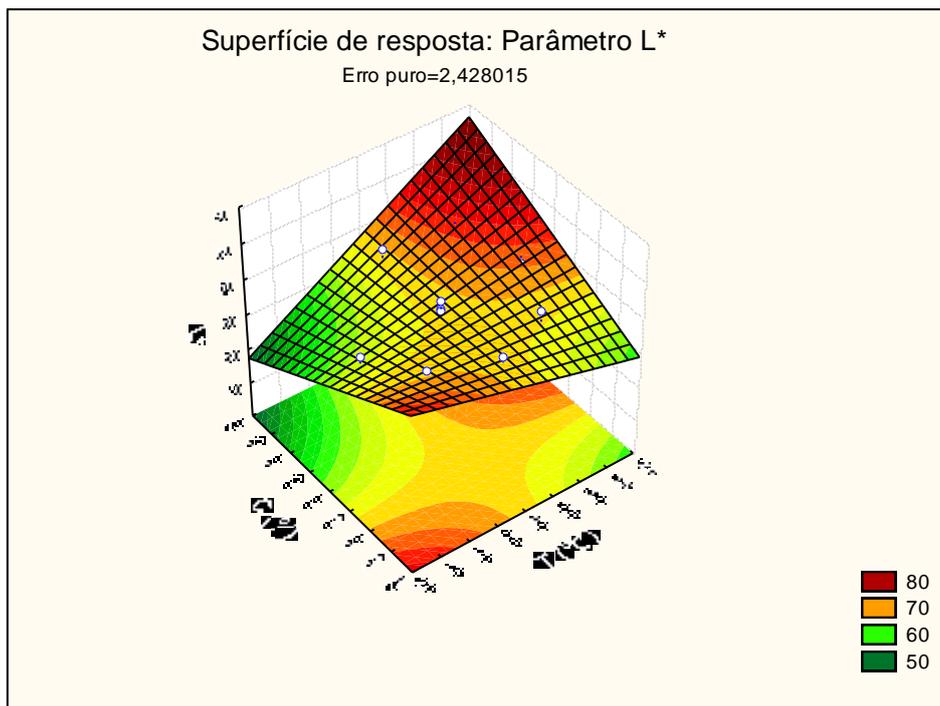


Figura 7. Superfície de resposta para o parâmetro L*.

Segundo Henrique, Cereda e Sarmiento (2008), o éster de amido fosfatado é mais claro, e era esperado através da modificação química, obter amostras mais claras, o que não foi percebido. O aquecimento a altas temperaturas pode

ter desencadeado reações de caramelização (escurecimento não enzimático), devido à quantidade existente de carboidratos na farinha. Essa reação é favorecida pela presença de ácidos e de certos sais, e necessita de energias de ativação maiores para acontecer, por isso ocorrem em temperaturas extremas na faixa de 130°C a 170°C, com compostos poliidroxicarbonilados (açúcares: glicose, sacarose, etc.).

Na reação de caramelização, que inicia com desidratação e, após condensação e polimerização, forma-se o produto da reação que é o pigmento caramelo, sendo este uma molécula de alto peso molecular, explicando o fato de as farinhas mais escuras obtidas terem sido justamente as que foram submetidas a maiores temperaturas (ORDÓÑEZ, 2005; OETTERER; SARMENTO, 2010). Bezerra et al. (2013) obteve valores médios de L* de 97,2 e 96,1 para a farinha de banana com casca obtida em temperaturas de secagem do purê de 80 °C e 90°C, respectivamente, ressaltando-se que a farinha de banana obtida pelos autores, não foi submetida a nenhum outro tratamento além da secagem.

Mondenese (2011) trabalhou com farinha de banana verde (FBV) da cv. nanica (*Musa acuminata*), onde submeteu algumas amostras à irradiação gama e à tratamentos hidrotérmicos. A FBV não irradiada e sem tratamento hidrotérmico, apresentou o valor de 82,63 para luminosidade (L) e a FBV não irradiada mas tratada hidrotermicamente à 80 °C, apresentou o valor de 62,28. As amostras irradiadas e tratadas hidrotermicamente não apresentaram diferenças significativas e encontram-se próximas dos resultados obtidos no presente trabalho.

4.2.2 Parâmetro a*

Os resultados da análise estatística realizada para os dados experimentais do parâmetro a* são apresentados nas Tabelas 14 e 15, onde foram considerados o erro puro e a soma quadrática residual. Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação são significativos no nível de 95% de confiança ($p \leq 0,05$) ou valores próximos e estão apresentados em negrito.

Tabela 14. Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o parâmetro a*.

Fatores	Efeito estimado	Erro puro	t(2)	Significância estatística (p)
Efeitos principais				
Concentração (L)	0,246954	0,077930	3,16891	0,086811
Concentração (Q)	0,050026	0,092768	0,53926	0,643711
Temperatura (L)	0,612377	0,077930	7,85801	0,015812
Temperatura (Q)	0,325109	0,092768	3,50455	0,072659
Efeito de interação				
Concentração (L) x Temperatura (L)	0,705000	0,110202	6,39735	0,023574

(L) = linear; (Q) = quadrático.

Tabela 15. Efeito estimado, soma quadrática residual, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o parâmetro a*.

Fatores	Efeito estimado	Soma quadrática residual	t(5)	Significância estatística (p)
Efeitos principais				
Concentração (L)	0,246954	0,181683	1,35926	0,232158
Concentração (Q)	0,050026	0,216274	0,23131	0,826244
Temperatura (L)	0,612377	0,181683	3,37058	0,019877
Temperatura (Q)	0,325109	0,216274	1,50323	0,193102
Efeito de interação				
Concentração (L) x Temperatura (L)	0,705000	0,256919	2,74405	0,040596

(L) = linear; (Q) = quadrático.

Como observado nas Tabelas 14 e 15, foram significativos no nível de 95% de confiança os efeitos: temperatura (L) e a interação concentração (L) e temperatura (L), considerando o erro puro e a soma quadrática residual. Na Tabela 14 foram considerados significativos os efeitos de Concentração (L), com significância estatística no limite de confiança de 91,32% ($p=0,0868$), e o efeito Temperatura (Q), com significância estatística no limite de confiança de 92,73% ($p=0,0727$). De acordo com a Figura 8, a Temperatura (L) foi o efeito de maior influência na variação do Parâmetro a*.

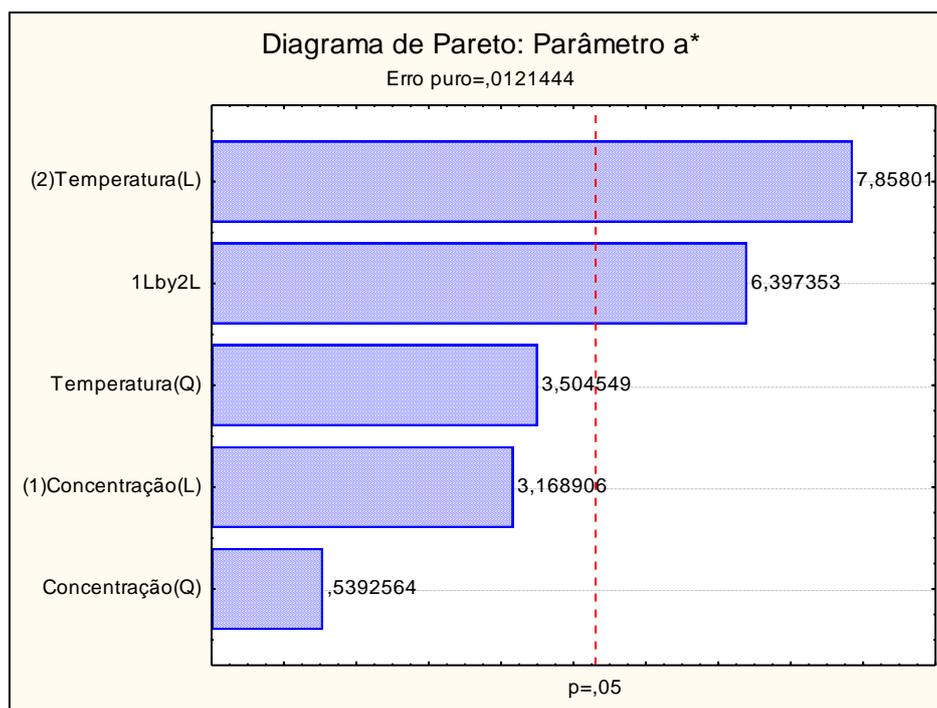


Figura 8. Diagrama de Pareto para o parâmetro A*.

A partir da eliminação dos efeitos não significativos foi realizada a análise de variância (ANOVA) dos pontos experimentais para o parâmetro a*, e verificada a significância da regressão e da falta de ajuste no nível de 95% de confiança, utilizando o teste F, como pode ser observado na Tabela 16.

Tabela 16. Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a variação do parâmetro a*.

Fonte de variação	SQ	GL	MQ	F _{calculado}	F _{tabelado}	R ²
Regressão	1,517708	4	0,379427	6,825	4,53	0,8198
Resíduos	0,333569	6	0,055595			
Falta de ajuste	0,309280	4	0,07732	6,366	19,25	
Erro puro	0,024289	2	0,012145			
Total	1,851277	10				

Como observado na Tabela 16, o valor de F_{calculado} para a falta de ajuste foi menor que o F_{tabelado}, indicando que os dados se ajustaram ao modelo determinado. Observando ainda o coeficiente de determinação (R²), o valor obtido para esse foi de 0,8198, onde indica que o modelo explica 81,98% da variação dos dados experimentais. O valor de F_{calculado} da regressão foi maior que o F_{tabelado} indicando que a regressão foi significativa, no entanto, o valor de

$F_{\text{calculado}}$ foi somente 1,51 vezes maior que o F_{tabelado} , evidenciando que o modelo ajustado não pode ser considerado preditivo. A seguir, as curvas de nível na Figura 9 e o gráfico de superfície de resposta na Figura 10.

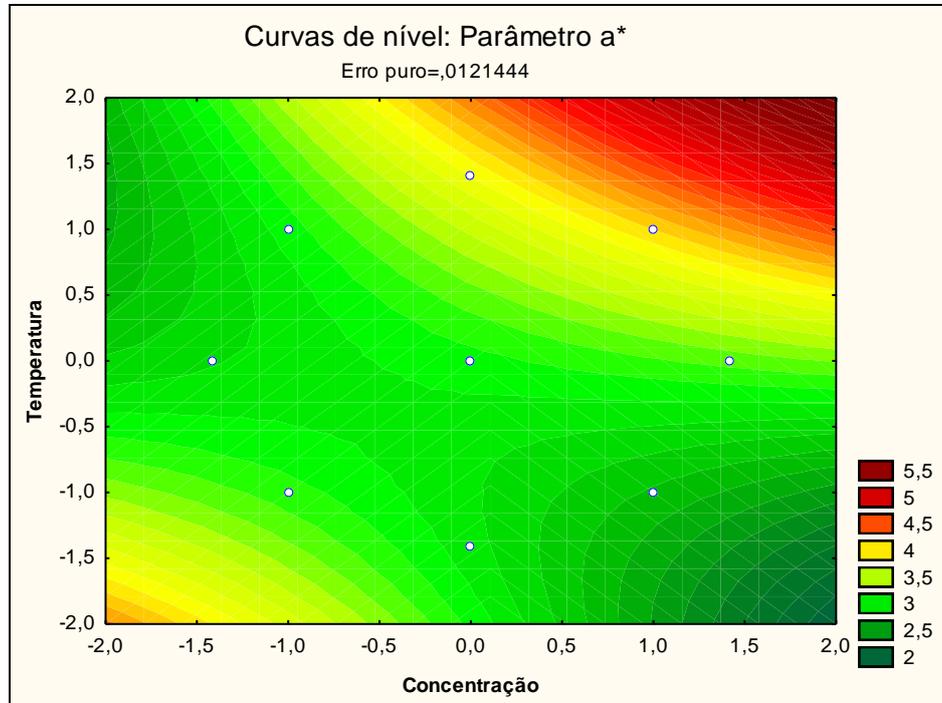


Figura 9. Curvas de nível para o parâmetro a*.

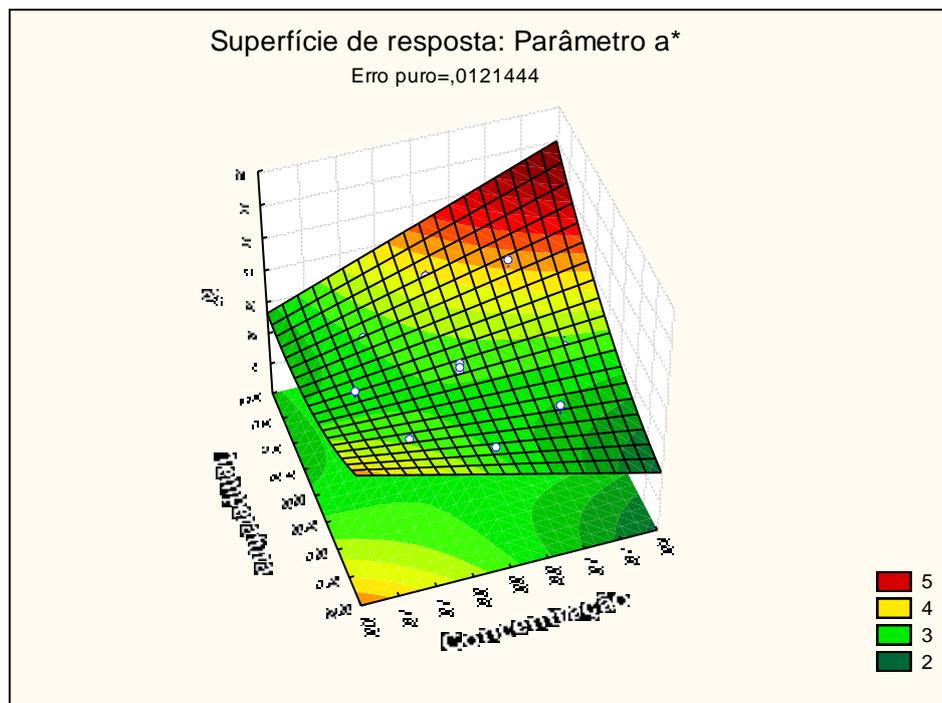


Figura 10. Superfície de resposta para o parâmetro a*.

Para a coordenada de cromaticidade a^* , que varia de -60 (verde) e +60 (vermelho), todas as amostras apresentaram valores acima de 0, tendendo para a cor vermelha. A amostra que obteve maior valor médio de a^* foi a FBVM 4 (Tabela 6), sendo esta significativamente diferente de todas as amostras. Os dados de concentração e temperatura utilizados para a obtenção desta amostra foram 9,5 % (+1) e 165 °C (+1), respectivamente, onde a maior temperatura de trabalho corroborou para que esta amostra tendesse mais para a cor vermelha do que as outras, ou seja, quanto maior a temperatura estudada, maior será o valor de a^* .

Isto mais uma vez pode ser explicado pelo fenômeno de caramelização que pode ter ocorrido na amostra, pois durante esta reação, podem ser formados pigmentos de três tipos: caramelo de cor parda, caramelo avermelhado e caramelo de cor pardo-avermelhada. Os pigmentos responsáveis pelas cores do caramelo são polímeros de estrutura variável, complexa e, em alguns casos, desconhecida (ORDÓÑEZ, 2005).

4.2.3 Parâmetro b^*

O parâmetro b^* (coordenada de cromaticidade) não constituiu uma resposta importante, pois não foram observados os efeitos significativos (linear, quadrático e interação) das variáveis independentes estudadas, considerando o erro puro. Observou-se que a amostra FBV (amido nativo) apresentou o maior valor de b^* , seguindo para as amostras FBVM 4 e FBVM 8, que obtiveram segundo maior valor. Com o tratamento de modificação submetido às amostras, foi possível obter valores de b^* menores comparados à amostra sem tratamento (amido nativo).

A coordenada de cromaticidade b^* observada na Tabela 10, apresentou valores acima de 0 para todas as amostras, resultando em farinhas que tendem para o amarelo.

4.2.4 Parâmetro C^* (Chroma)

Os resultados da análise estatística realizada para os dados experimentais do parâmetro C* são apresentados nas Tabelas 17 e 18, onde foram considerados o erro puro e a soma quadrática residual. Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação são significativos no nível de 95% de confiança ($p \leq 0,05$) ou valores próximos e estão apresentados em negrito.

Tabela 17. Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o parâmetro C*.

Fatores	Efeito estimado	Erro puro	t(2)	Significância estatística (p)
Efeitos principais				
Concentração (L)	0,25831	0,229972	1,12321	0,378065
Concentração (Q)	0,22042	0,273757	0,80515	0,505237
Temperatura (L)	0,55875	0,229972	2,42963	0,135746
Temperatura (Q)	0,65405	0,273757	2,38915	0,139459
Efeito de interação				
Concentração (L) x Temperatura (L)	0,93665	0,325205	2,88018	0,102370

(L) = linear; (Q) = quadrático.

Tabela 18. Efeito estimado, soma quadrática residual, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o parâmetro C*.

Fatores	Efeito estimado	Soma quadrática residual	t(5)	Significância estatística (p)
Efeitos principais				
Concentração (L)	0,25831	0,238426	1,08338	0,328094
Concentração (Q)	0,22042	0,283820	0,77661	0,472512
Temperatura (L)	0,55875	0,238426	2,34348	0,066094
Temperatura (Q)	0,65405	0,283820	2,30444	0,069387
Efeito de interação				
Concentração (L) x Temperatura (L)	0,93665	0,337160	2,77806	0,038991

(L) = linear; (Q) = quadrático.

Como observado na Tabela 17, nenhum dos efeitos foi significativo ao nível de 95% de confiança ($p \leq 0,05$), mas o efeito da interação concentração (L) e temperatura (L) foi considerado significativo, considerando o erro puro, pois este apresentou significância estatística no limite de confiança de 89,76% ($p=0,1024$). Observando os efeitos na Tabela 18, foi significativo o efeito da interação concentração (L) e temperatura (L), e foram considerados significativos os efeitos linear e quadrático da temperatura, considerando a

soma quadrática, onde o efeito linear apresentou significância estatística no limite de confiança de 93,39% (0,0661) e o efeito quadrático apresentou significância estatística no limite de confiança de 93,06% (0,0694). Dessa forma, considerando-se o erro puro e eliminando-se os efeitos não significativos, obteve-se a análise de variância (ANOVA) onde verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste no nível de 95% de confiança, conforme a Tabela 19.

Tabela 19. Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a variação do parâmetro Chroma.

Fonte de variação	SQ	GL	MQ	F _{calculado}	F _{tabelado}	R ²
Regressão	0,877313	1	0,877313	4,089	5,12	0,3124
Resíduos	1,931007	9	0,214556			
Falta de ajuste	1,719490	7	0,245641	2,323	19,35	
Erro puro	0,211517	2	0,105759			
Total	2,808320	10				

O valor de F_{tabelado} para a falta de ajuste foi 8,33 vezes maior que o F_{calculado}, todavia o valor de F_{calculado} para a regressão foi menor que o F_{tabelado}, evidenciando que o modelo ajustado não pode ser considerado preditivo e que a regressão não foi significativa. Observando ainda o coeficiente de determinação (R²), o valor obtido para esse foi de 0,3124, onde indica que o modelo explica somente 31,24% da variação dos dados experimentais, constatando mais uma vez que o modelo não pode ser considerado para fins preditivos.

Como observado na Tabela 10, a farinha de banana verde (FBV) sem modificação apresentou o valor de 12,48 para o parâmetro C*, já as amostras modificadas apresentaram valores aproximados à farinha sem modificação, sendo que a FBVM 4 e a FBVM 8 alcançaram valores um pouco acima (12,72 e 12,51 respectivamente), no entanto, mediante as farinhas modificadas não terem apresentado diferenças significativas conforme observado na análise estatística da ANOVA, todas tenderam a apresentarem cores pouco intensas (valores mais próximos de zero).

4.2.5 Parâmetro °H (ângulo hue)

Os resultados da análise estatística realizada para os dados experimentais do parâmetro °H (ângulo hue) são apresentados nas Tabelas 20 e 21, onde foram considerados o erro puro e a soma quadrática residual. Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação são significativos no nível de 95% de confiança ($p \leq 0,05$) ou valores próximos e estão apresentados em negrito.

Tabela 20. Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o parâmetro °H (ângulo hue).

Fatores	Efeito estimado	Erro puro	t(2)	Significância estatística (p)
Efeitos principais				
Concentração (L)	-0,73168	0,386881	-1,8912	0,199145
Concentração (Q)	0,09335	0,460540	0,2027	0,858123
Temperatura (L)	-2,56644	0,386881	-6,6337	0,021978
Temperatura (Q)	-0,59686	0,460540	-1,2960	0,324378
Efeito de interação				
Concentração (L) x Temperatura (L)	-2,10250	0,547091	-3,8431	0,061526

(L) = linear; (Q) = quadrático.

Tabela 21. Efeito estimado, soma quadrática residual, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o parâmetro °H (ângulo hue).

Fatores	Efeito estimado	Soma quadrática residual	t(5)	Significância estatística (p)
Efeitos principais				
Concentração (L)	-0,73168	0,730271	-1,0019	0,362371
Concentração (Q)	0,09335	0,869309	0,1074	0,918661
Temperatura (L)	-2,56644	0,730271	-3,5144	0,017021
Temperatura (Q)	-0,59686	0,869309	-0,6866	0,522879
Efeito de interação				
Concentração (L) x Temperatura (L)	-2,10250	1,032682	-2,0360	0,097369

(L) = linear; (Q) = quadrático.

Como observado nas Tabelas 20 e 21, foi significativo no nível de 95% de confiança o efeito de temperatura (L), considerando o erro puro e a soma quadrática residual. Observando ainda nessas tabelas, o efeito de interação, concentração (L) e temperatura (L), foi considerado significativo, com

significância estatística no limite de confiança de 93,85% ($p=0,0615$), considerando o erro puro, e com significância estatística no limite de confiança de 90,26% ($p=0,0974$), considerando a soma quadrática residual. De acordo com o Diagrama de Pareto (Figura 11) a temperatura (L) foi o efeito de maior influência no ângulo *hue*.

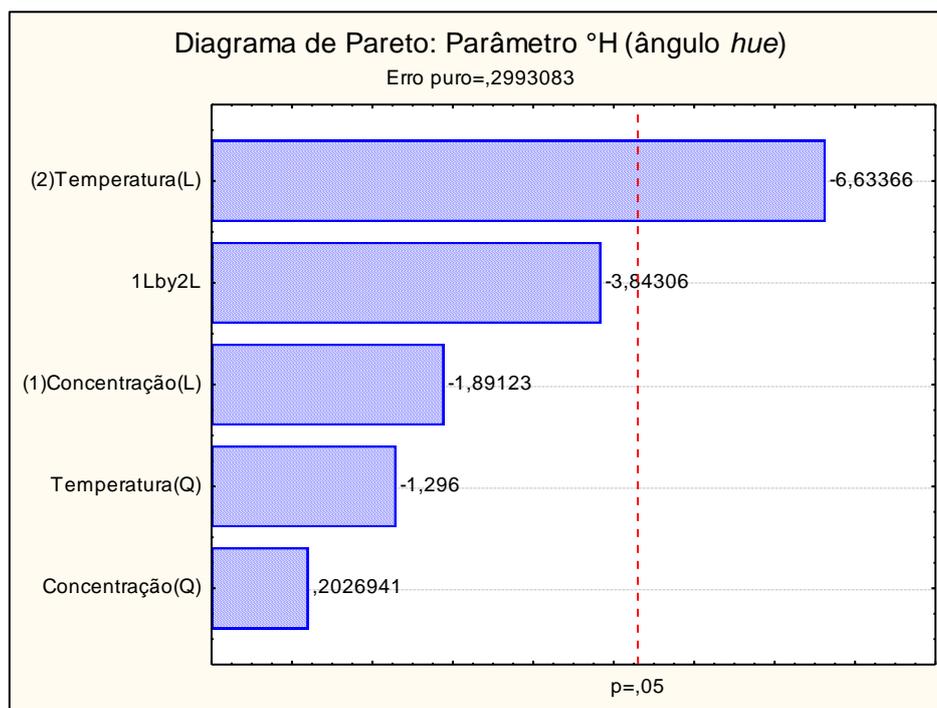


Figura 11. Diagrama de Pareto para o parâmetro °H (ângulo *hue*).

A partir da eliminação dos efeitos não significativos foi realizada a análise de variância (ANOVA) dos pontos experimentais para o parâmetro °H, e verificada a significância da regressão e da falta de ajuste no nível de 95% de confiança, utilizando o teste F, como pode ser observado na Tabela 22.

Tabela 22. Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a variação do parâmetro °H (ângulo *hue*).

Fonte de variação	SQ	GL	MQ	F _{calculado}	F _{tabelado}	R ²
Regressão	17,59172	2	8,79586	10,028	4,46	0,7149
Resíduos	7,01705	8	0,877131			
Falta de ajuste	6,41844	6	1,06974	3,574	19,33	
Erro puro	0,59862	2	0,29931			
Total	24,60877	10				

Como observado na Tabela 22, o valor de $F_{\text{calculado}}$ para a falta de ajuste foi menor que o F_{tabelado} , sendo o valor de F_{tabelado} maior 5,41 vezes que o $F_{\text{calculado}}$, no entanto, o $F_{\text{calculado}}$ da regressão foi maior que o F_{tabelado} somente 2,25 vezes, indicando que a regressão não pode ser considerada útil para fins preditivos. Além disso, o valor do coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,7149, onde indica que o modelo explica 71,49% da variação dos dados experimentais. Na Figura 15 as curvas de nível e na Figura 16 o gráfico de superfície de resposta para o parâmetro IAA.

A seguir, as curvas de nível na Figura 12 e o gráfico de superfície de resposta na Figura 13.

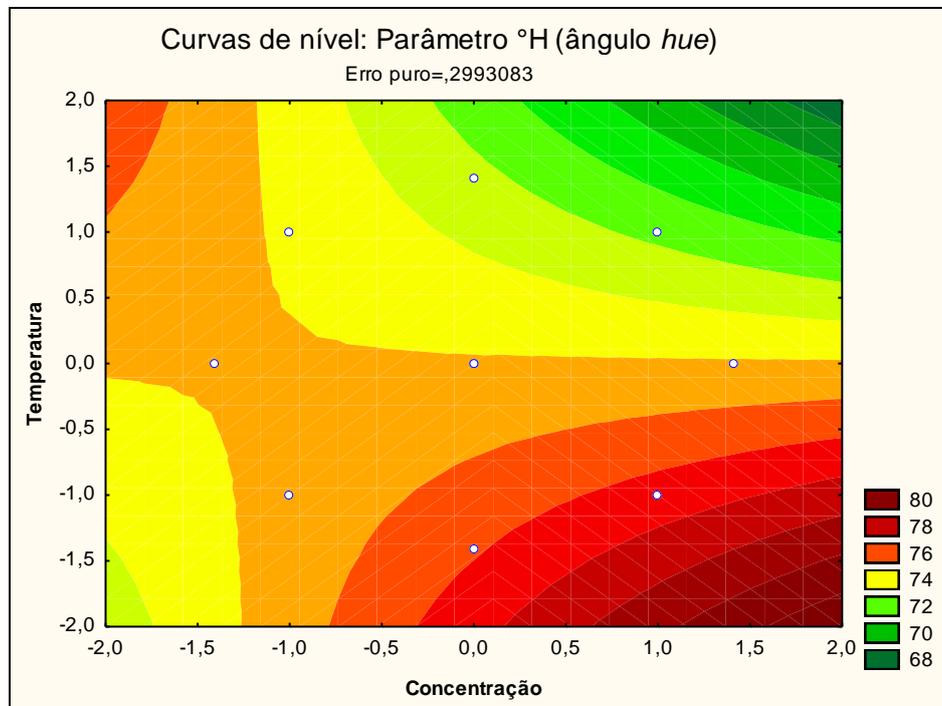


Figura 12. Curvas de nível para o parâmetro °H.

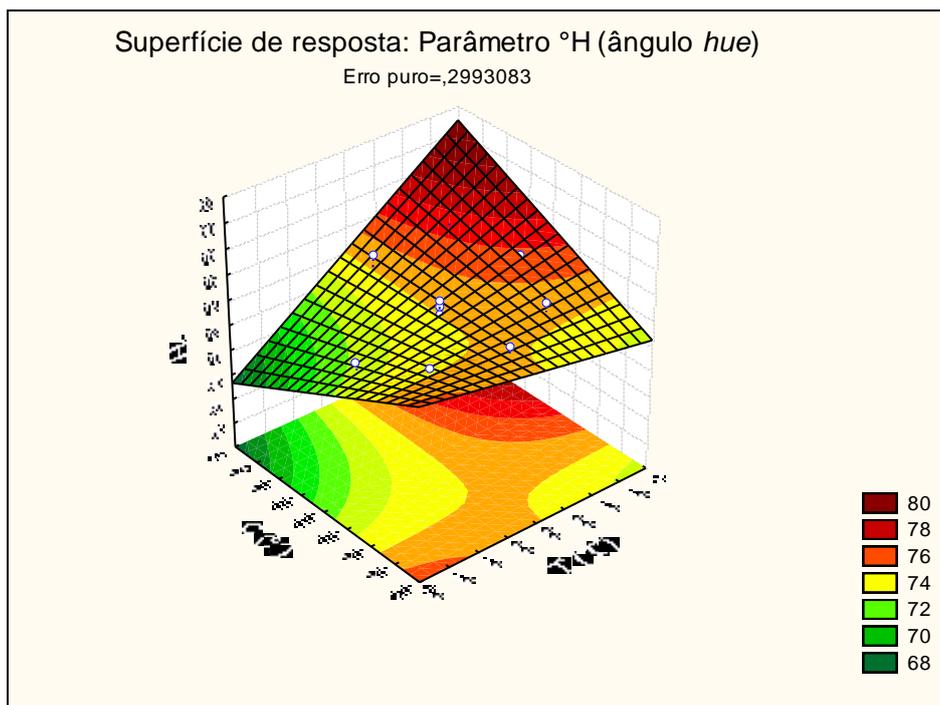


Figura 13. Superfície de resposta para o parâmetro °H.

Como observado na tabela 10, a FBV (padrão) apresentou um °H de 78,76 tendendo para a cor amarela. Dentre as farinhas modificadas, todas as amostras tenderam para o tom amarelo, onde o menor valor de °H foi da amostra FBVM 4 (70,03 °h), e o maior valor para a amostra FBVM 7 (75,55 °h). Mondenese (2011) trabalhou com farinha de banana verde (FBV) da cv. Nanica (*Musa acuminata*), onde submeteu algumas amostras à irradiação gama e à tratamentos hidrotérmicos, onde a farinha padrão (sem irradiação e sem tratamento hidrotérmico) apresentou o valor de 81,10 °h e a farinha não irradiada e tratada hidrotérmicamente, apresentou o valor de 72,36 °h, ambas tendendo para o tom amarelo. Os resultados obtidos para a amostra não irradiada e submetida ao tratamento hidrotérmico estão próximos aos valores de °H encontrados no presente trabalho.

4.3 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (IAA) E ÍNDICE DE SOLUBILIDADE EM ÁGUA (ISA)

4.3.1 Parâmetro IAA

Os resultados obtidos para as caracterizações tecnológicas das propriedades funcionais da farinha estão expostos na Tabela 23.

Tabela 23. Valores médios de Índice de Absorção de Água (IAA) e de Índice de Solubilidade em Água (ISA) de amostras de FBV e FBVM.

Ensaio	Amostras (C/T)	IAA (g gel/g)	ISA %
	FBV (padrão)	2,79	9,51
FBVM 1	5,5%/145°C	3,14	0,32
FBVM 2	9,5%/145°C	3,02	0,53
FBVM 3	5,5%/165°C	4,27	0,67
FBVM 4	9,5%/165°C	8,76	3,20
FBVM 5	4,7%/155°C	3,53	0,22
FBVM 6	10,3%/155°C	3,63	0,21
FBVM 7	7,5%/138°C	3,46	0,89
FBVM 8	7,5%/172°C	9,52	1,49
FBVM 9	7,5%/155°C (PC)	3,82	1,35
FBVM 10	7,5%/155°C (PC)	3,93	1,08
FBVM 11	7,5%/155°C (PC)	3,06	1,33

C = concentração do reagente (%); T = temperatura de modificação (°C); (PC) = ponto central.

O valor médio de IAA da FBV foi próximo ao encontrado por Bezerra et al. (2013), que obteve valores de 2,89 e 2,72 para FBV elaborada com casca (Nanicão) submetidas ao processo de secagem em leito de jorro em temperaturas de 80 °C e 90 °C, respectivamente. Com relação às amostras modificadas, essas obtiveram valores maiores que os encontrados por Bezerra et al. (2013).

Ao comparar os valores de IAA obtidos com os encontrados por Pereira (2011), esse obteve valores próximos aos encontrados neste trabalho. Pereira (2011) estudou os efeitos da fosfatação usando TPS em amido da fruta-de-lobo, onde obteve IAA de 3,07 (g gel/g) para o amido nativo; 3,93 (g gel/g) para amostra fosfatada com 7% de TPS e, 3,9 (g gel/g) para amostra fosfatada com 11% de TPS, todos os valores obtidos em temperatura de 80 °C.

Além disso, o IAA da FBV é comparável com a farinha de batata-doce, que ficou em torno de 3,1% conforme Borba, Sarmento e Leonel (2005), ficando distante somente dos valores das amostras FBVM 3, FBVM 4 e FBVM 8.

Os resultados da análise estatística realizada para os dados experimentais do parâmetro IAA são apresentados nas Tabelas 24 e 25, onde foram considerados o erro puro e a soma quadrática residual. Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação são significativos no nível de 95% de confiança ($p \leq 0,05$) ou valores próximos e estão apresentados em negrito.

Tabela 24. Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o parâmetro IAA.

Fatores	Efeito estimado	Erro puro	t(2)	Significância estatística (p)
Efeitos principais				
Concentração (L)	1,129235	0,333550	3,38551	0,077270
Concentração (Q)	-0,143578	0,397054	-0,36161	0,752274
Temperatura (L)	3,862520	0,333550	11,58005	0,007375
Temperatura (Q)	2,766551	0,397054	6,96769	0,019983
Efeito de interação				
Concentração (L) x Temperatura (L)	2,305200	0,471675	4,88727	0,039408

(L) = linear; (Q) = quadrático.

Tabela 25. Efeito estimado, soma quadrática residual, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o parâmetro IAA.

Fatores	Efeito estimado	Soma quadrática residual	t(5)	Significância estatística (p)
Efeitos principais				
Concentração (L)	1,129235	0,560355	2,015212	0,099979
Concentração (Q)	-0,143578	0,667042	-0,215246	0,838080
Temperatura (L)	3,862520	0,560355	6,892986	0,000984
Temperatura (Q)	2,766551	0,667042	4,147491	0,008932
Efeito de interação				
Concentração (L) x Temperatura (L)	2,305200	0,792402	2,909129	0,033434

(L) = linear; (Q) = quadrático.

Como observado nas Tabelas 24 e 25, foram significativos no nível de 95% de confiança os efeito linear e quadrático da temperatura e o efeito de interação de concentração (L) e temperatura (L), considerando o erro puro e a soma quadrática residual. Foi considerado significativo o efeito de concentração (L), com significância estatística no limite de confiança de 92,27% ($p=0,0772$), considerando o erro puro, e com significância estatística no limite de confiança de 90,01% (0,0999), considerando a soma quadrática

residual. De acordo o Diagrama de Pareto, na Figura 14, a temperatura (L) foi o efeito de maior influência na variação do Parâmetro IAA.

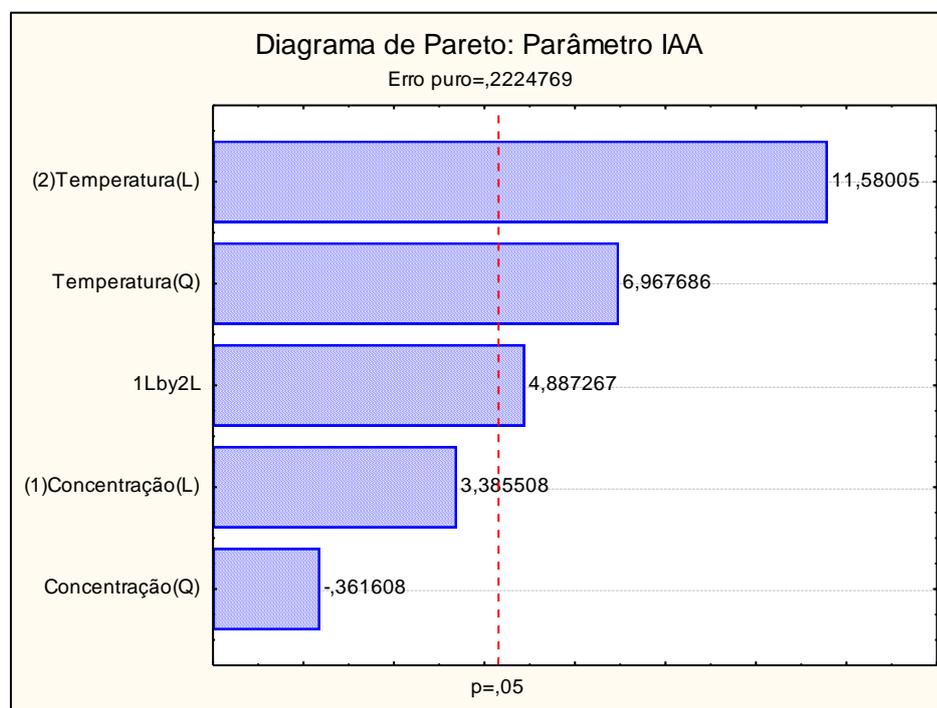


Figura 14. Diagrama de Pareto para o parâmetro IAA (g gel/g).

A partir da eliminação dos efeitos não significativos foi realizada a análise de variância (ANOVA) dos pontos experimentais para o parâmetro IAA, e verificada a significância da regressão e da falta de ajuste no nível de 95% de confiança, utilizando o teste F, como pode ser observado na Tabela 26.

Tabela 26. Análise de variância para os termos lineares e quadráticos dos fatores para o parâmetro IAA.

Fonte de variação	de	SQ	GL	MQ	F _{calculado}	F _{tabelado}	R ²
Regressão		49,88376	4	12,47094	23,615	4,53	0,9403
Resíduos		3,16856	6	0,528093			
Falta de ajuste		2,72364	4	0,68091	3,061	19,25	
Erro puro		0,44495	2	0,222475			
Total		53,05235	10				

Como observado na Tabela 26, o valor de F_{calculado} para a falta de ajuste foi menor que o F_{tabelado}, indicando que os dados se ajustaram ao modelo determinado, sendo o valor de F_{tabelado} maior 6,29 vezes que o F_{calculado},

indicando que o modelo pode ser considerado preditivo. Além disso, o valor do coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,9403, onde indica que o modelo explica 94,03% da variação dos dados experimentais. O valor de $F_{\text{calculado}}$ da regressão foi maior que o F_{tabelado} indicando que a regressão foi significativa, sendo o valor de $F_{\text{calculado}}$ 5,21 vezes maior que o F_{tabelado} , constatando, bem como através da falta de ajuste não significativa, que o modelo ajustado pode ser considerado preditivo. Na Figura 15 as curvas de nível e na Figura 16 o gráfico de superfície de resposta para o parâmetro IAA.

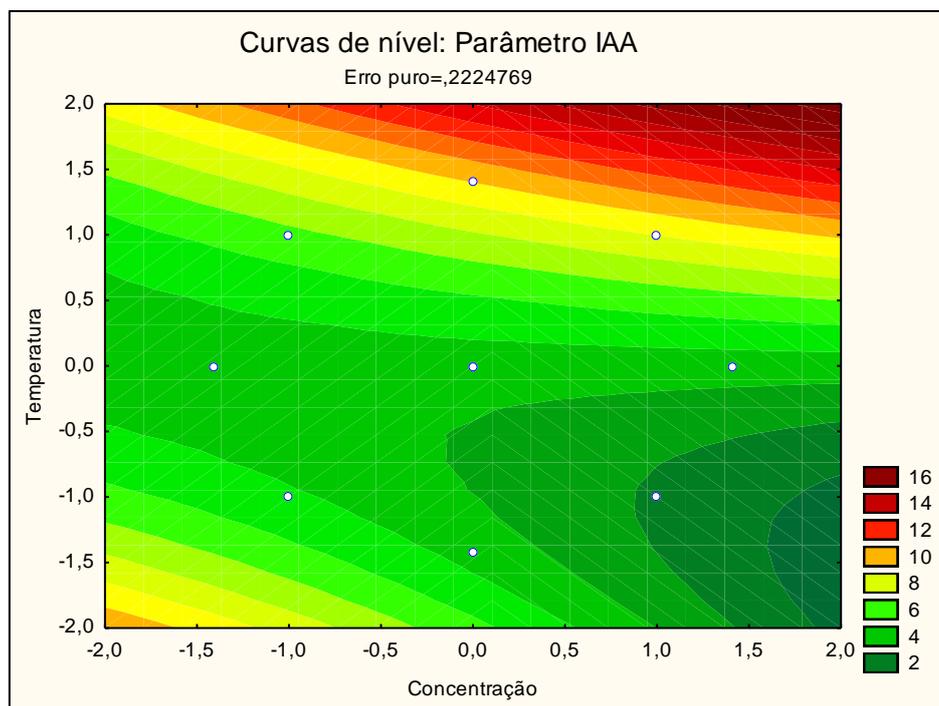


Figura 15. Curvas de nível para o parâmetro IAA (g gel/g).

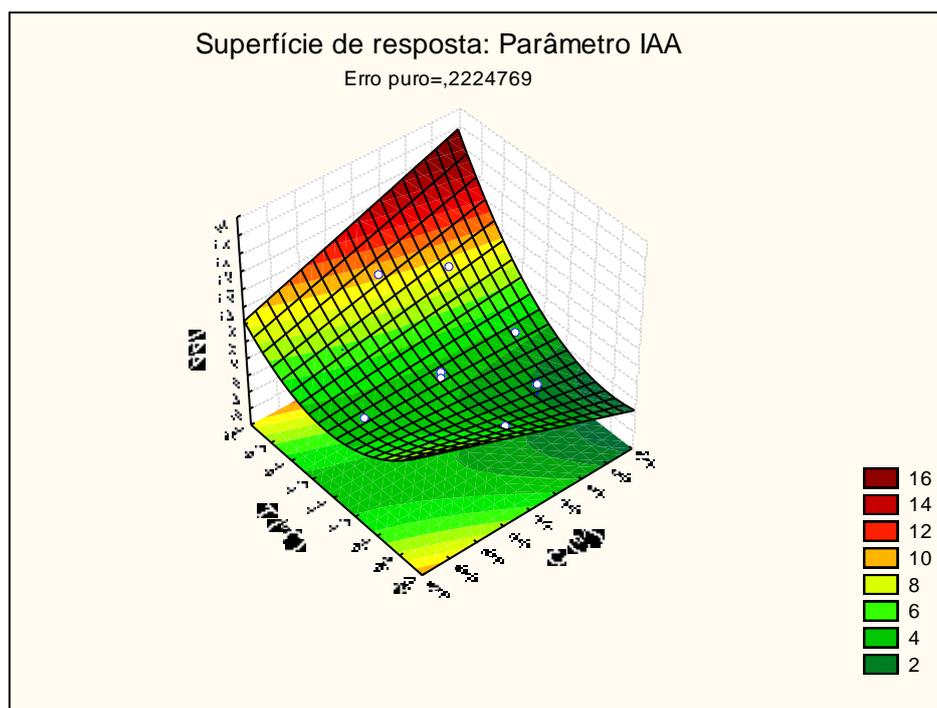


Figura 16. Superfície de resposta para o parâmetro IAA (g gel/g).

Os gráficos de superfície de resposta e das curvas de nível para a resposta estudada denotam a região de mínimo observada através dos efeitos significativos dos parâmetros, linear e quadrático, positivos, sendo constatado que o aumento da temperatura eleva o Índice de Absorção de Água.

Isso pode ser explicado em função da quebra de ligações intermoleculares da farinha, tornando as ligações hidroxilas mais disponíveis e, portanto, mais suscetíveis à realizar ligações com a água, possuindo melhor característica de inchamento do que o amido nativo, permitindo com que o amido com grânulos danificados com grupos hidrofílicos disponíveis (-OH), mediante modificação, absorva água em temperatura ambiente. Conforme Borba, Sarmiento e Leonel (2005) e Leonel et al. (2006), o índice de absorção de água está relacionado justamente com a disponibilidade de grupos hidrofílicos (-OH) do amido em se ligar à água, o grau de degradação das moléculas e à capacidade dessas em formar gel, pois somente os grânulos de amido gelatinizados absorvem água em temperatura ambiente e incham.

4.3.2 Parâmetro ISA

Para o ISA, o valor médio obtido para a FBV e FBVM 4 apresentou-se acima do encontrado por Bezerra et al. (2013) que obtiveram valor de 1,22 (secagem em leito de jorro à 80 °C) e 1,34 (secagem à 90 °C), mas os valores médios obtidos para as amostras FBVM 8 até FBVM 11 foram próximos aos valores de Bezerra et al. (2013), enquanto que as amostras FBVM 1, FBVM 2, FBVM 3, FBVM 5, FBVM 6, FBVM 7 ficaram abaixo do valor obtido por esses pesquisadores.

Wang et al (2010) estudaram a farinha de soja decorticada branqueada com uso de NaHCO₃ (bicarbonato de sódio) e obtiveram valores médios de 27,63 (sem tratamento com NaHCO₃) e de 22,76 (tratamento com 1,25% de NaHCO₃).

Os valores médios de FBV e das farinhas modificadas observados na Tabela 23, quando comparados com outra fonte amilácea como batata-doce, ficaram abaixo dos valores obtidos por Borba, Sarmiento e Leonel (2005), que obtiveram 16,6% para farinha de batata-doce não extrusada e 10,7 a 22,2% para farinha extrusada.

O ISA está relacionado com a quantidade de sólidos solúveis contidos em uma amostra seca, permitindo verificar o grau de severidade do tratamento, em função da degradação, gelatinização, dextrinização, desramificação da estrutura amilácea e consequente solubilização do amido (CARVALHO FILHO; ASCHERI; VIDAL, 2002; LEONEL, et al., 2006).

Os resultados da análise estatística realizada para os dados experimentais do parâmetro ISA são apresentados nas Tabelas 27 e 28, onde foram considerados o erro puro e a soma quadrática residual. Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação são significativos no nível de 95% de confiança ($p \leq 0,05$) ou valores próximos e estão apresentados em negrito.

Tabela 27. Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o parâmetro ISA.

Fatores	Efeito estimado	Erro puro	t(2)	Significância estatística (p)
Efeitos principais				
Concentração (L)	0,680167	0,107841	6,30713	0,024228
Concentração (Q)	-0,803143	0,128373	-6,25633	0,024609
Temperatura (L)	0,966499	0,107841	8,96227	0,012222
Temperatura (Q)	0,179904	0,128373	1,40142	0,296114
Efeito de interação				
Concentração (L) x Temperatura (L)	1,157000	0,152499	7,58696	0,016933

(L) = linear; (Q) = quadrático.

Tabela 28. Efeito estimado, soma quadrática residual, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o parâmetro ISA.

Fatores	Efeito estimado	Soma quadrática residual	t(5)	Significância estatística (p)
Efeitos principais				
Concentração (L)	0,680167	0,450555	1,50962	0,191522
Concentração (Q)	-0,803143	0,536337	-1,49746	0,194537
Temperatura (L)	0,966499	0,450555	2,14513	0,084766
Temperatura (Q)	0,179904	0,536337	0,33543	0,750917
Efeito de interação				
Concentração (L) x Temperatura (L)	1,157000	0,637133	1,81595	0,129081

(L) = linear; (Q) = quadrático.

Como foi observado através da Tabela 27, foram considerados significativos o efeito concentração (linear e quadrático), o efeito temperatura (L) e a interação concentração (L) e temperatura (L). Foi considerado significativo o efeito temperatura (L), com significância estatística no limite de confiança de 91,52% ($p=0,0848$), considerando a soma quadrática residual (Tabela 28). No Diagrama de Pareto do parâmetro ISA (Figura 17), observa-se que a temperatura (L) foi o efeito de maior influência.

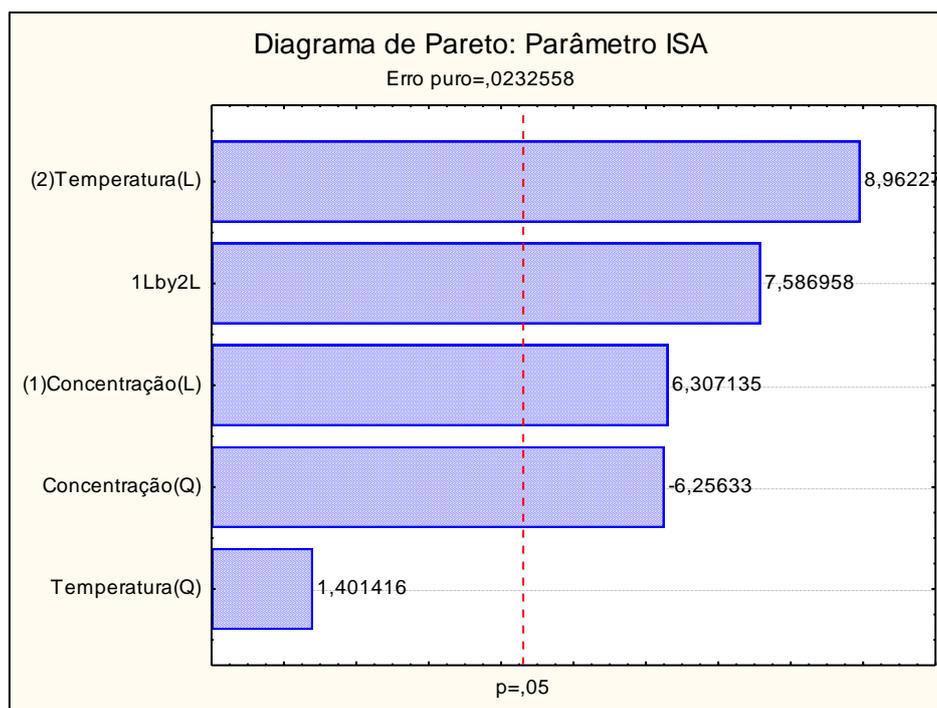


Figura 17. Diagrama de Pareto para o parâmetro ISA (%).

Eliminou-se os efeitos não significativos, considerando-se o erro puro, e obteve-se a análise de variância (ANOVA) dos pontos experimentais, sendo verificada a significância da regressão e da falta de ajuste no nível de 95% de confiança, utilizando o teste F, como pode ser observado na Tabela 29.

Tabela 29. Análise de variância para os termos lineares e quadráticos dos fatores para o parâmetro ISA.

Fonte de variação	SQ	GL	MQ	F _{calculado}	F _{tabelado}	R ²
Regressão	5,263652	4	1,315913	3,804	4,53	0,7172
Resíduos	2,075368	6	0,345895			
Falta de ajuste	2,028856	4	0,507214	21,81	19,25	
Erro puro	0,046512	2	0,023256			
Total	7,33902	10				

Como observado na Tabela 29, o valor de F_{calculado} da regressão foi menor que o F_{tabelado} indicando que a regressão não foi significativa. Observando o coeficiente de determinação (R²), o valor obtido para esse foi de 0,7172, onde indica que o modelo explica 71,72% da variação dos dados experimentais. O valor de F_{calculado} para a falta de ajuste foi maior que o F_{tabelado}, indicando que os dados não se ajustaram ao modelo determinado,

evidenciando que o modelo não pode ser considerado preditivo. Dessa forma, não foram gerados os gráficos de curvas de nível e superfície de resposta para esse parâmetro.

Como observado na Tabela 23, os dados de ISA para as amostras de farinhas modificadas (FBVM) decaíram bastante em relação à amostra de farinha de banana verde (FBV). Dessa forma, explicam-se os baixos valores de ISA nas amostras modificadas devido os seus compostos solúveis terem sido lixiviados durante a lavagem para a redução dos teores de fósforo e sódio residuais.

4.4 CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC)

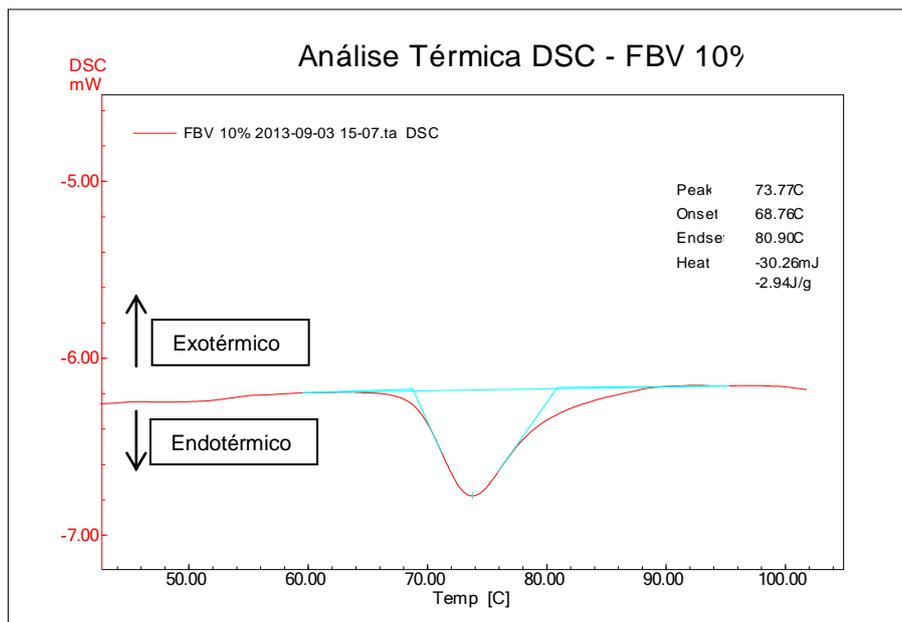
A seguir pode-se observar a Tabela 30 contendo os dados de DSC da FBV e das amostras modificadas, onde se trabalhou com concentrações de 10% de amostra (m/v).

Tabela 30. Dados de DSC para a farinha de banana verde e para as amostras de farinhas de banana modificadas utilizando-se a concentração de 10%.

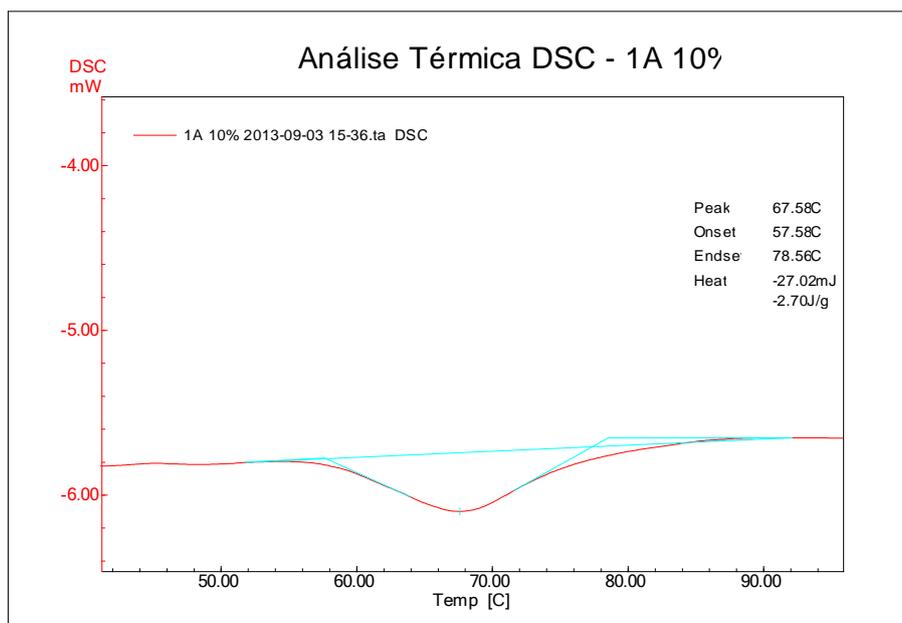
Ensaio	Amostras	Conc. 10%		
		T ₀	T _P	T _f
	FBV (padrão)	68,8	73,8	80,9
	C/T			
FBVM 1	5,5%/145°C	57,6	67,6	78,6
FBVM 2	9,5%/145°C	54,2	59,4	70,1
FBVM 3	5,5%/165°C	50,9	56,9	65,4
FBVM 4	9,5%/165°C	35,8	39,8	80,2
FBVM 5	4,7%/155°C	55,9	61,5	69,3
FBVM 6	10,3%/155°C	59,5	61,9	73,0
FBVM 7	7,5%/138°C	59,9	64,2	75,3
FBVM 8	7,5%/172°C	-	-	-
FBVM 9	7,5%/155°C (PC)	58,1	64,8	76,3
FBVM 10	7,5%/155°C (PC)	48,5	56,3	61,5
FBVM 11	7,5%/155°C (PC)	59,1	68,4	79,8

C = concentração do reagente (%); T = temperatura de modificação (°C); (PC) = ponto central.

A seguir estão apresentados nas Figuras 18, 19, 20, 21, 22 e 23, os gráficos de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) para as amostras de FBV e para as farinhas modificadas na concentração de 10% de amostra (m/v).

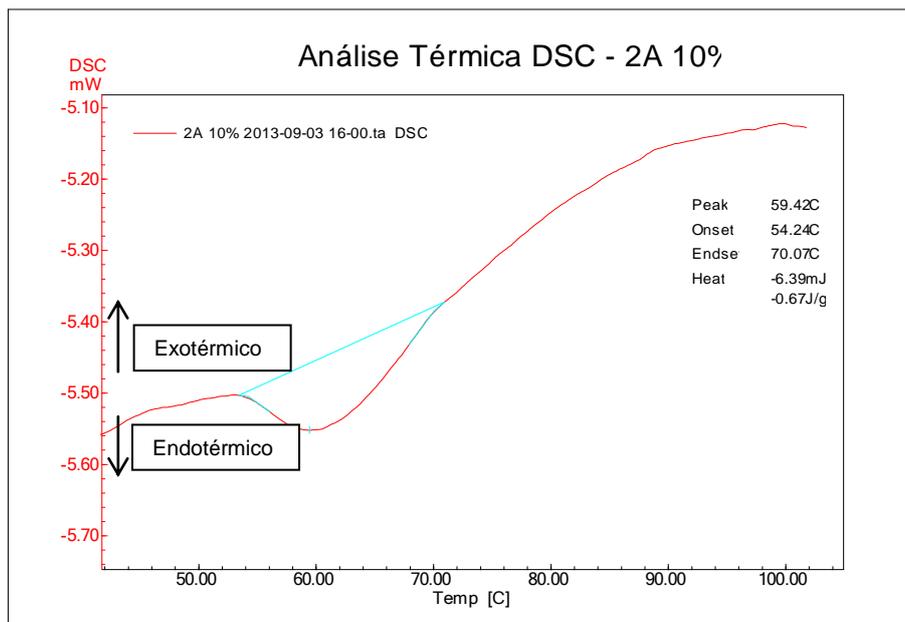


18-A

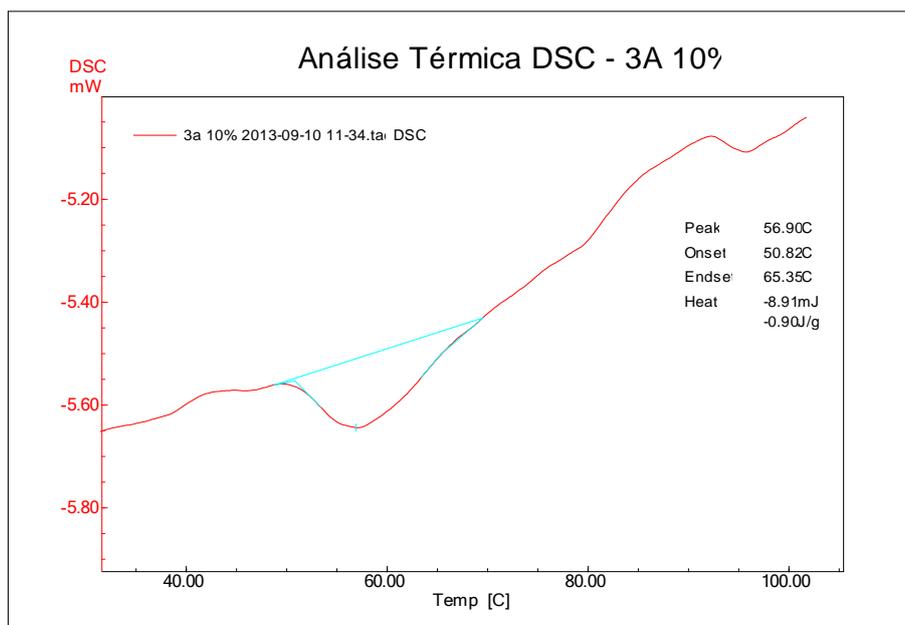


18-B

Figura 18. Gráficos de calorimetria exploratória diferencial (DSC): A - Amostra FBV (padrão); B - Amostra 5,5% / 145°C.

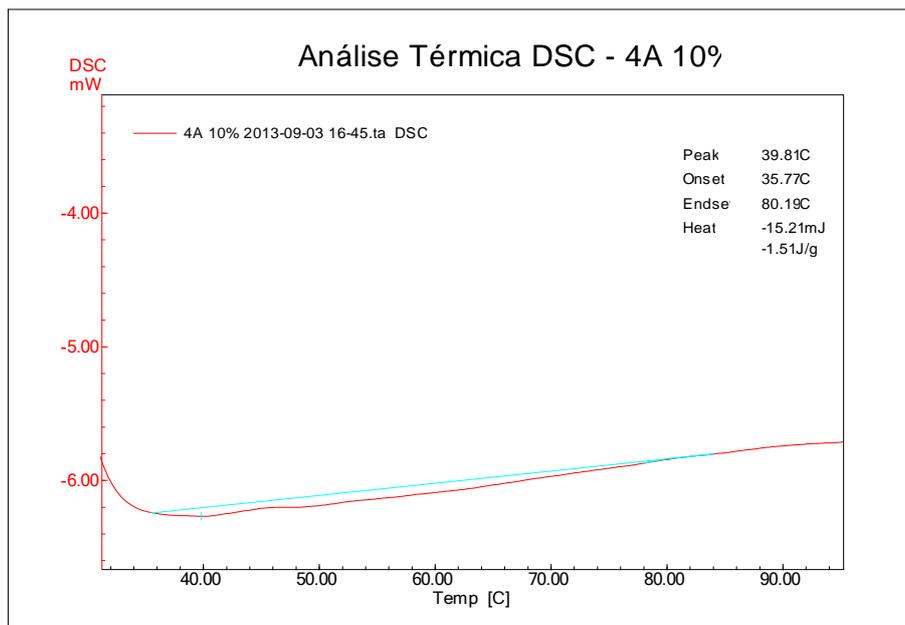


19-A

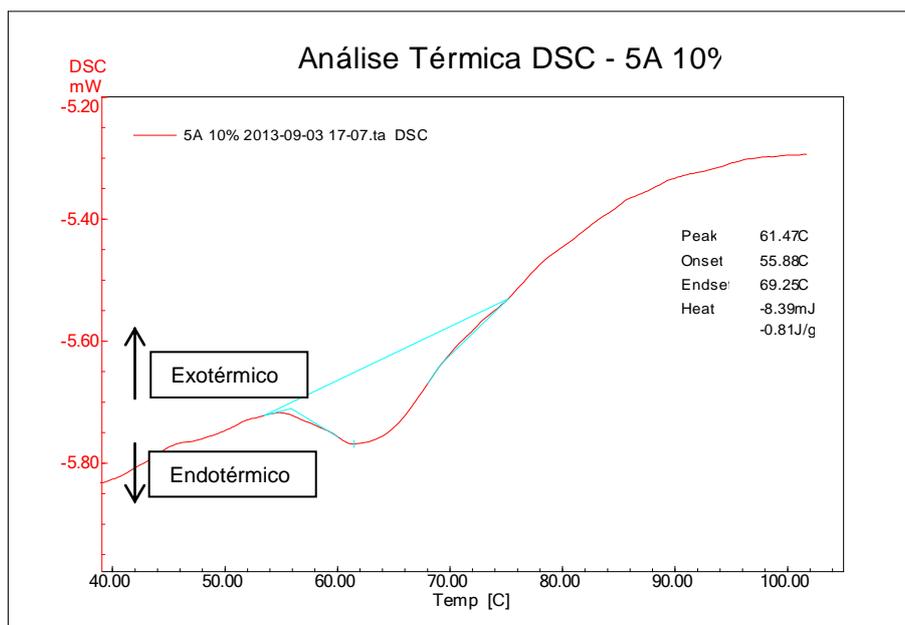


19-B

Figura 19. gráficos de calorimetria exploratória diferencial (DSC): A - Amostra 9,5% / 145 °C; B - Amostra 5,5% / 165°C.

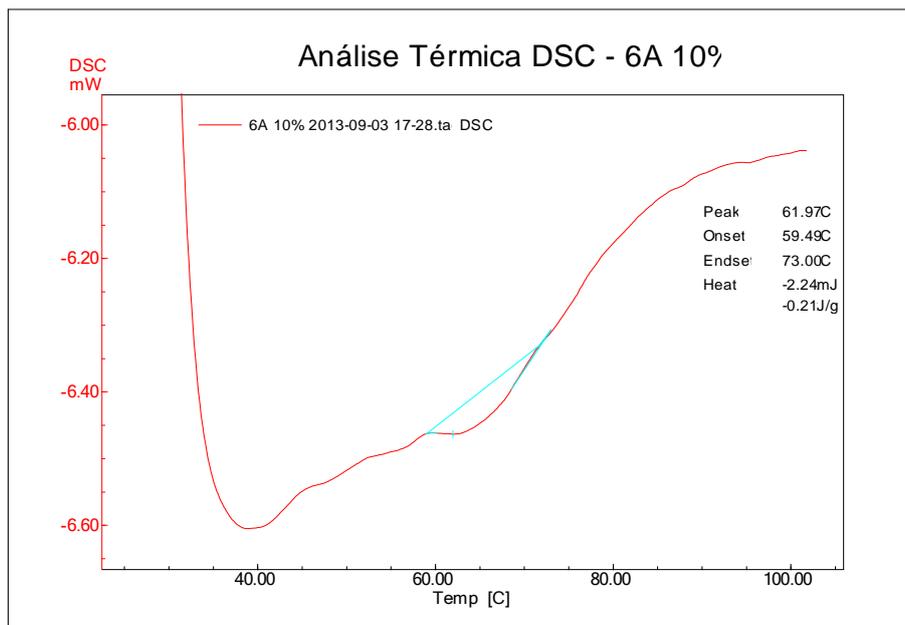


20-A

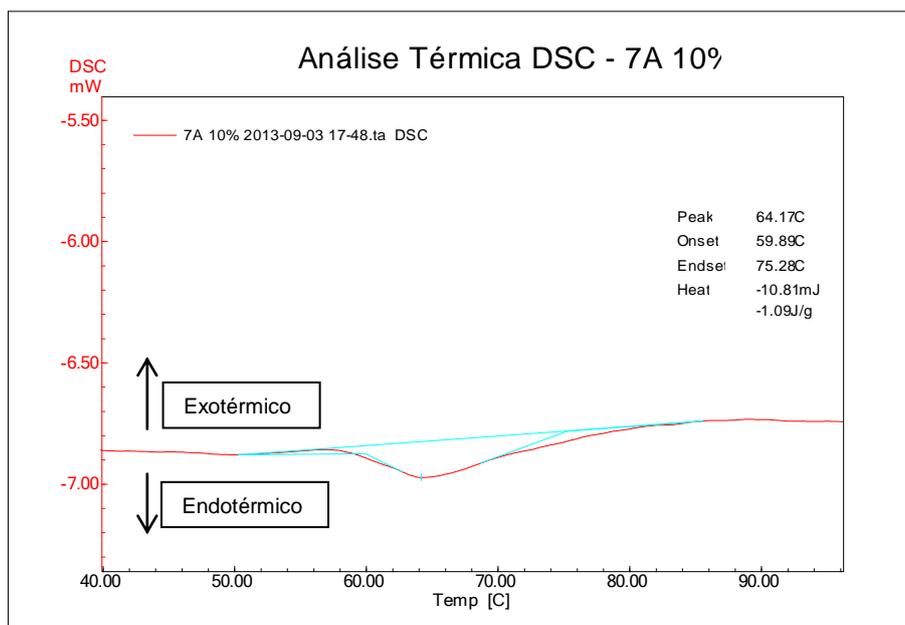


20-B

Figura 20. Gráficos de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC): A - Amostra 9,5% / 165 °C; B - Amostra 4,67% / 155°C.

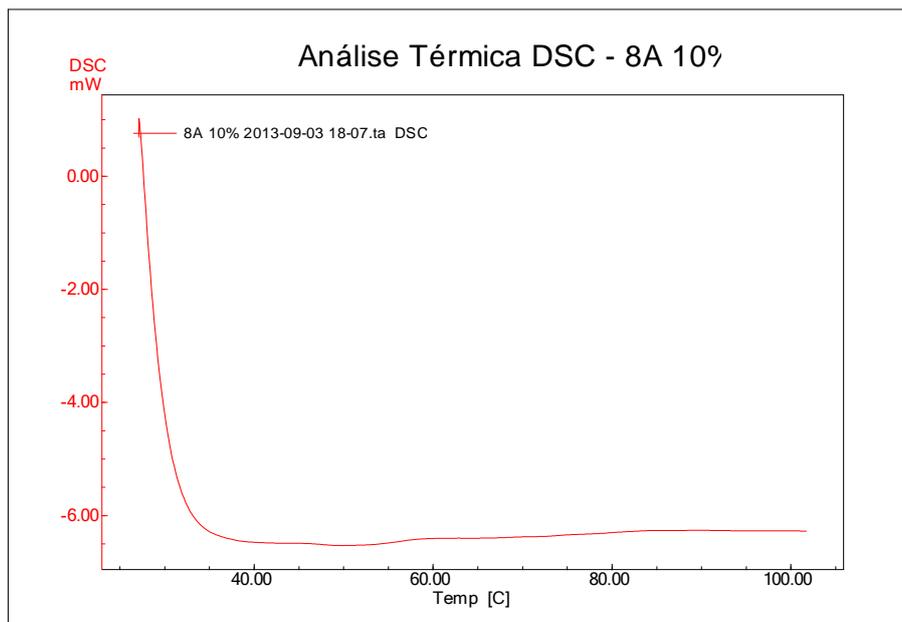


21-A

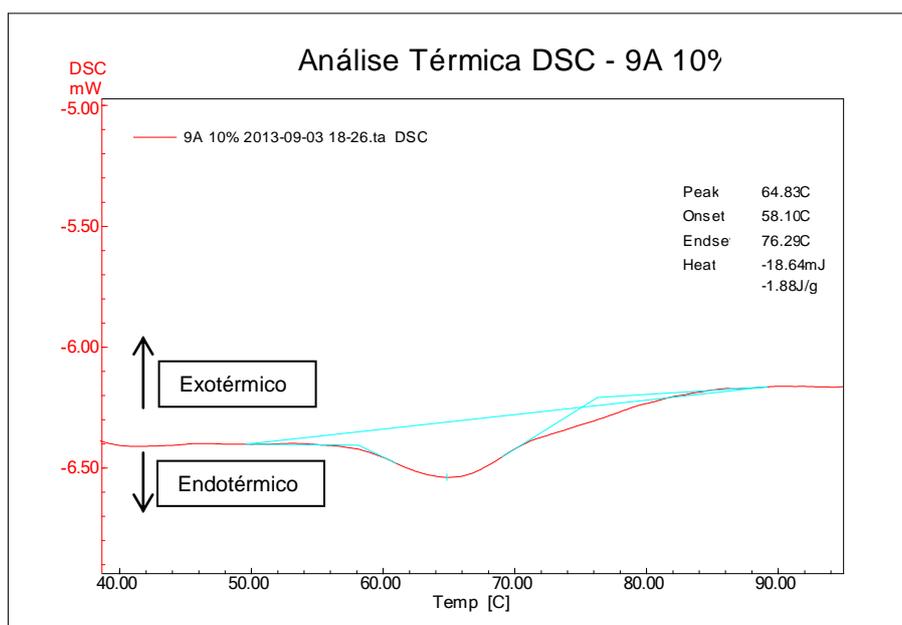


21-B

Figura 21. Gráficos de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC): A - Amostra 10,33% / 155 °C; B - Amostra 7,5% / 138°C.



22-A



22-B

Figura 22. Gráficos de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC): A - Amostra 7,5% / 172 °C; B - Amostra 7,5% / 155°C.

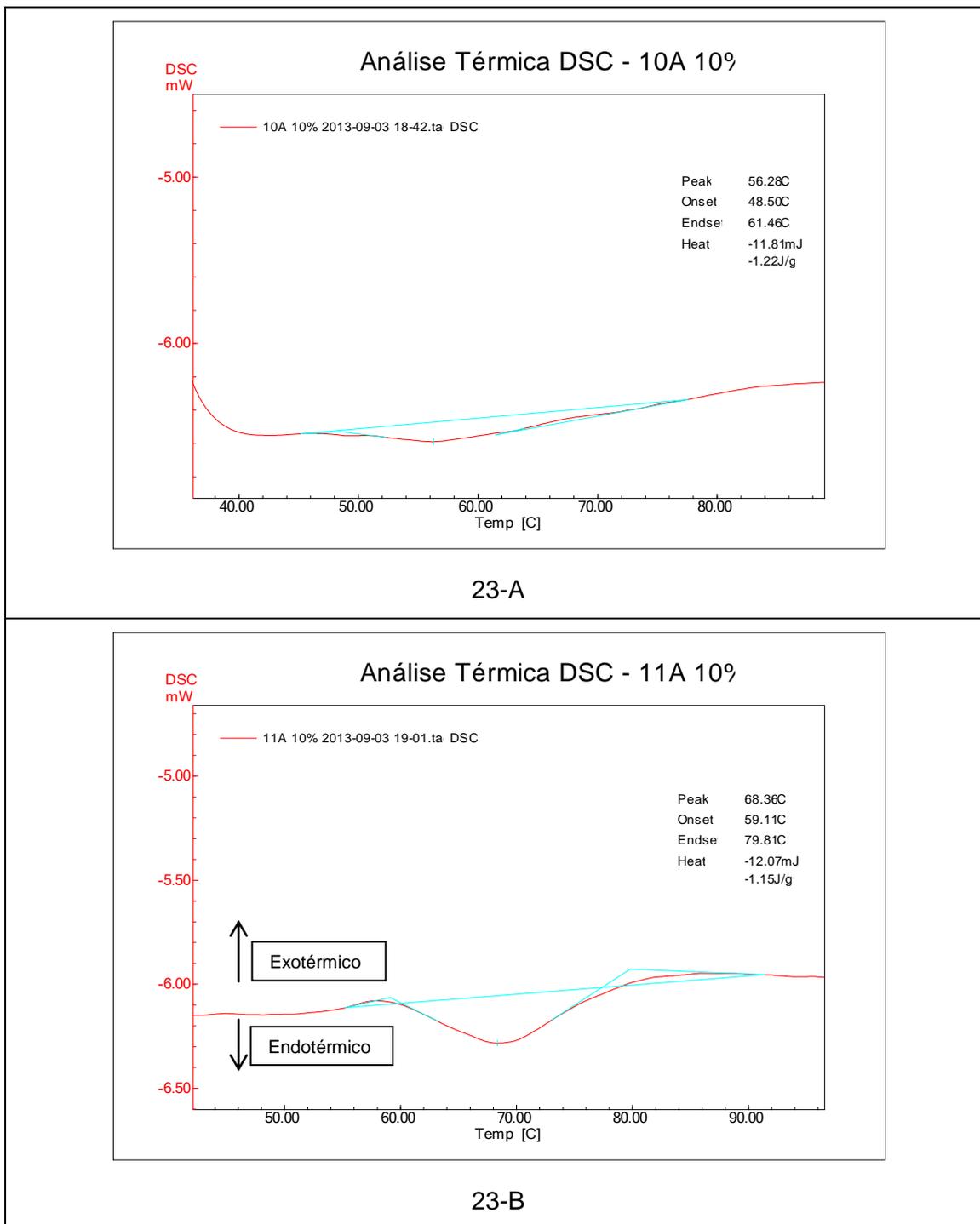


Figura 23. Gráficos de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC): A - Amostra 7,5% / 155 °C; B - Amostra 7,5% / 155°C.

Os resultados da análise estatística realizada para os dados experimentais do parâmetro DSC são apresentados nas Tabelas 31 e 32, onde foram considerados o erro puro e a soma quadrática residual. Os efeitos dos

fatores lineares, quadráticos e da interação são significativos no nível de 95% de confiança ($p \leq 0,05$) ou valores próximos e estão apresentados em negrito.

Tabela 31. Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o parâmetro DSC.

Fatores	Efeito estimado	Erro puro	t(2)	Significância estatística (p)
Efeitos principais				
Concentração (L)	-6,1845	4,3937	-1,4076	0,2946
Concentração (Q)	3,0510	5,2302	0,5834	0,6187
Temperatura (L)	-30,2743	4,3937	-6,8904	0,0204
Temperatura (Q)	-26,5579	5,2302	-5,0778	0,0367
Efeito de interação				
Concentração (L) x Temperatura (L)	-4,4500	6,2132	-0,7162	0,5482

(L) = linear; (Q) = quadrático.

Tabela 32. Efeito estimado, soma quadrática residual, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o parâmetro DSC.

Fatores	Efeito estimado	Soma quadrática residual	t(5)	Significância estatística (p)
Efeitos principais				
Concentração (L)	-6,1845	8,8404	-0,6996	0,5154
Concentração (Q)	3,0510	10,5235	0,2899	0,7835
Temperatura (L)	-30,2743	8,8404	-3,4245	0,0188
Temperatura (Q)	-26,5579	10,5235	-2,5237	0,0529
Efeito de interação				
Concentração (L) x Temperatura (L)	-4,4500	12,5013	-0,3559	0,7364

(L) = linear; (Q) = quadrático.

Como foi observado através da Tabela 31, foram significativos o efeito linear e quadrático da temperatura, considerando o erro puro. Com relação à Tabela 32, foi significativo o efeito linear temperatura, sendo considerado significativo também o seu efeito quadrático, com significância estatística no limite de confiança de 94,71% ($p=0,0529$), considerando a soma quadrática residual. A seguir, a Figura 24 apresenta o Diagrama de Pareto, onde o efeito temperatura (L) foi o que apresentou maior influência na variação do parâmetro DSC.

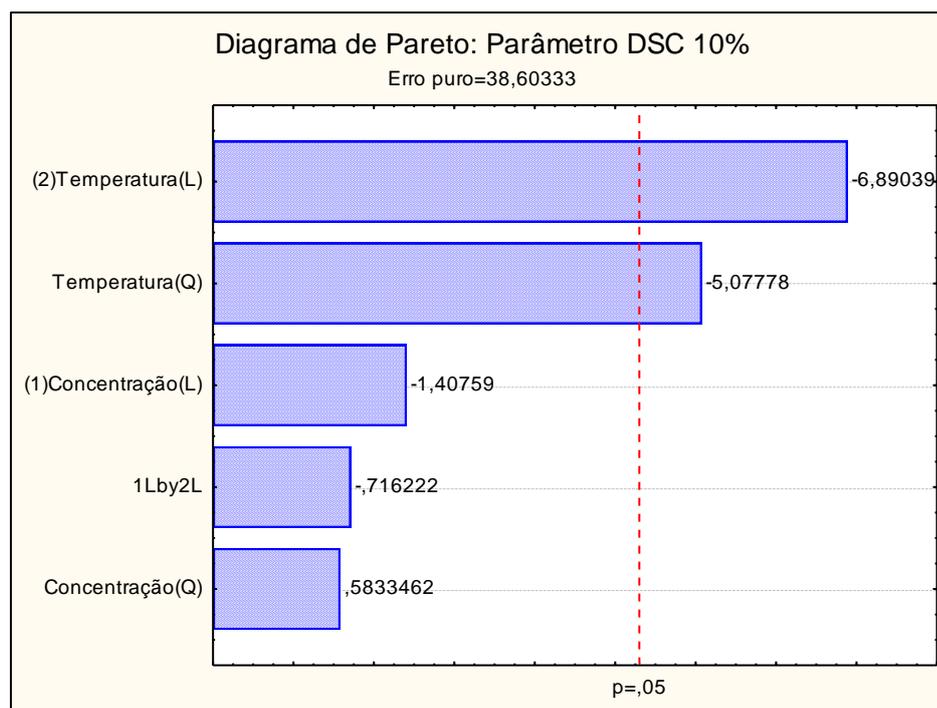


Figura 24. Diagrama de Pareto para o parâmetro DSC.

Considerando-se o erro puro, eliminou-se os efeitos não significativos e obteve-se a análise de variância (ANOVA) dos pontos experimentais, sendo verificada a significância da regressão e da falta de ajuste no nível de 95% de confiança para o parâmetro DSC, utilizando o teste F, como pode ser observado na Tabela 33.

Tabela 33. Análise de variância para os termos lineares e quadráticos dos fatores para o parâmetro DSC.

Fonte de variação	SQ	GL	MQ	F _{calculado}	F _{tabelado}	R ²
Regressão	2997,122	2	1498,561	13,458	4,46	0,7709
Resíduos	890,834	8	111,354			
Falta de ajuste	813,627	6	135,605	3,513	19,33	
Erro puro	77,207	2	38,604			
Total	3887,956	10				

Como observado na Tabela 33, o valor de F_{calculado} da regressão foi 3,02 vezes maior que o F_{tabelado} indicando que a regressão foi significativa, no entanto, o modelo não pode ser considerado preditivo. O valor de F_{tabelado} da falta de ajuste foi 5,5 vezes maior que F_{calculado}, indicando que os dados se ajustaram ao modelo determinado. Observando o coeficiente de determinação

(R^2), o valor obtido foi de 0,7709, onde indica que o modelo explica 77,09% da variação dos dados experimentais. A seguir na Figura 25 as curvas de nível e na Figura 26 o gráfico de superfície de resposta para o parâmetro DSC.

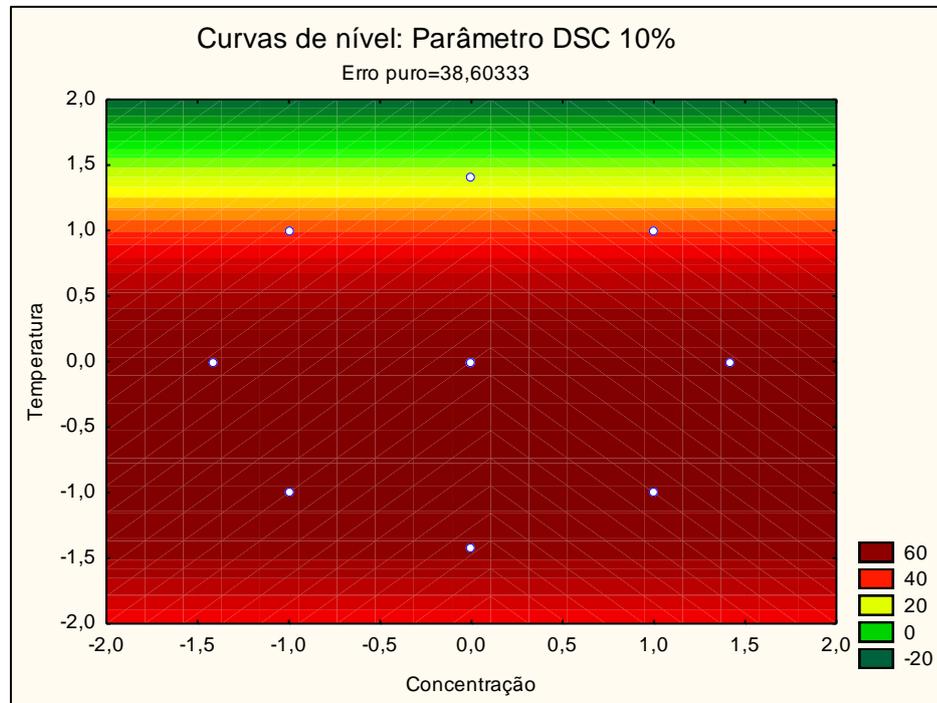


Figura 25. Curvas de nível para o parâmetro DSC.

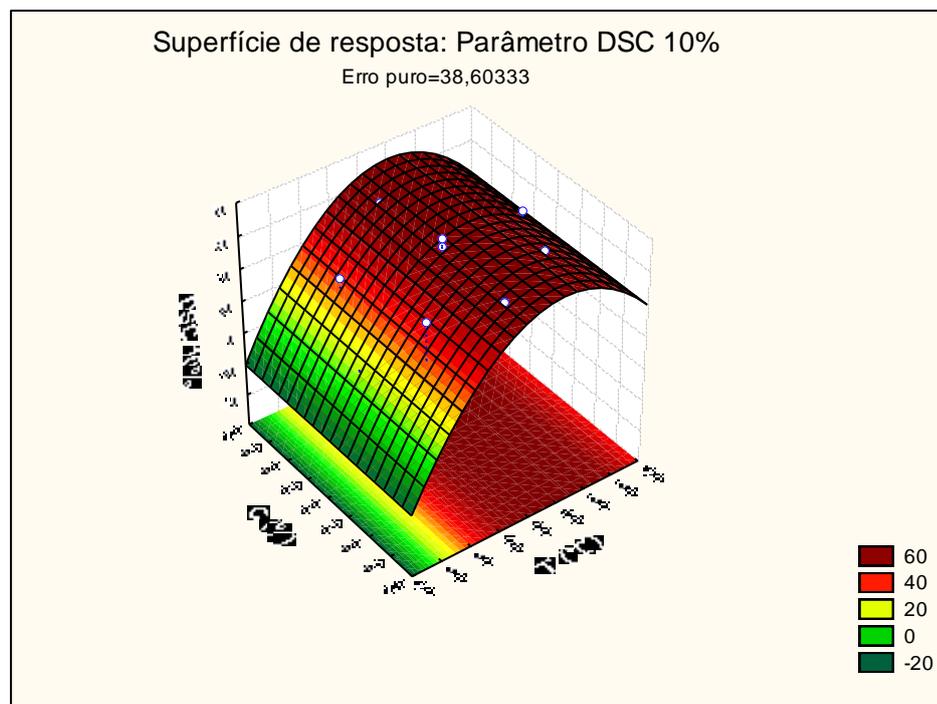


Figura 26. Superfície de resposta para o parâmetro DSC.

Através da Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC), observou-se o decréscimo do valor de temperatura de pico para as amostras modificadas em relação à amostra sem modificação (FBV). A temperatura de pico é entendida como a temperatura onde ocorre a mudança da molécula de amido, que passa do estado vítreo ao estado elástico, resultando no processo endotérmico conhecido como gelatinização.

A análise estatística demonstrou significância da variável temperatura na resposta, e apesar de a variável concentração não ter influenciado significativamente o parâmetro estudado, nota-se que as amostras que apresentaram menores valores de T_P foram justamente as que utilizaram maiores concentrações de TPS estando à mesma temperatura de modificação, como a FBVM 2, que apresentou um T_P de 59,4 enquanto que a FBVM 1, apresentou um T_P de 67,6 °C, ambas modificadas à 145 °C, bem como a amostra FBVM 4, que apresentou um T_P de 39,8 °C, em detrimento à FBVM 3, que apresentou um T_P de 56,9, ambas modificadas à 165 °C.

4.5 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

A seguir estão apresentados nas Figuras 27, 28, 29, 30, 31 e 32, os gráficos de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para a amostra de FBV e para as amostras de farinhas modificadas.

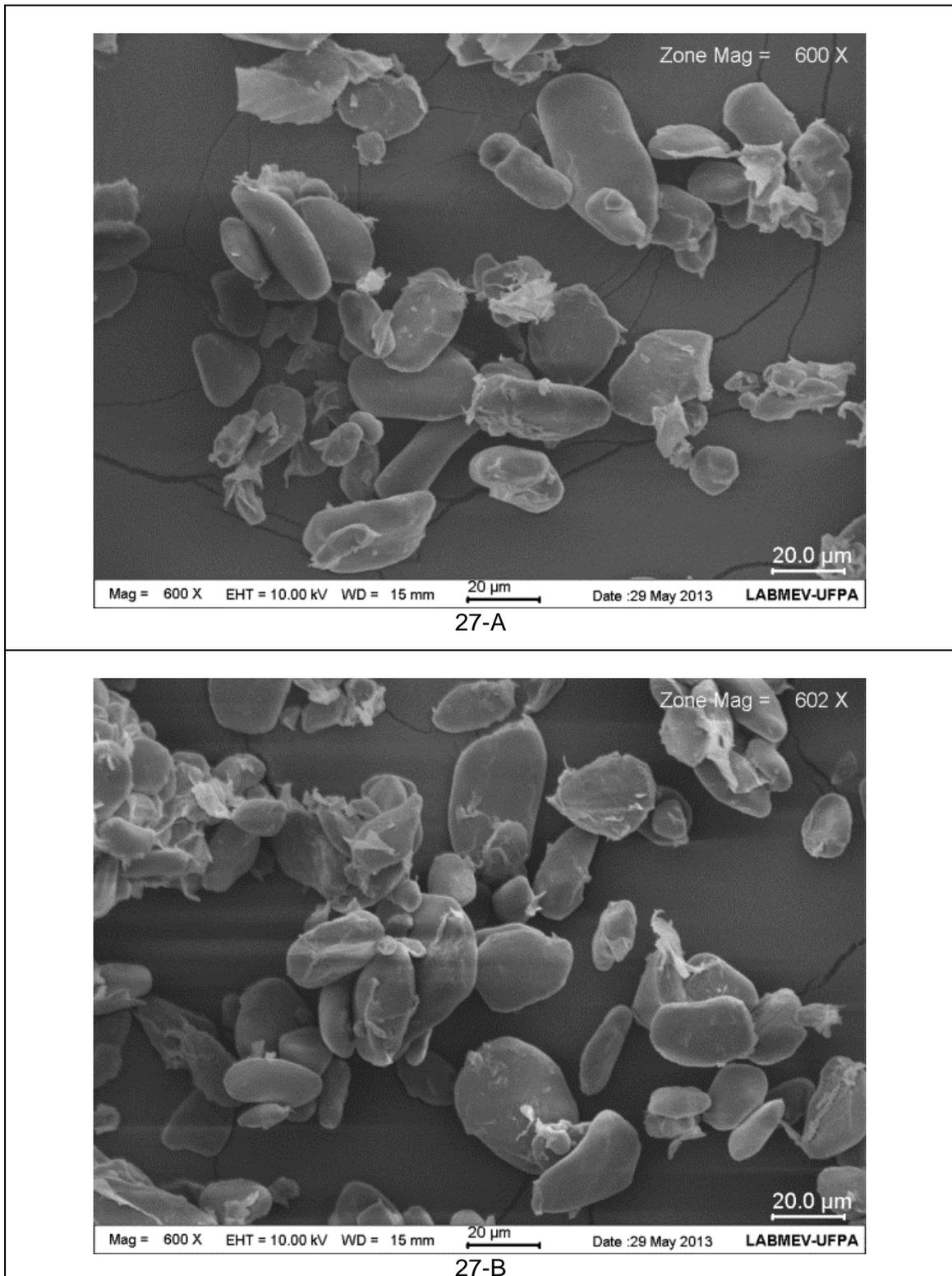
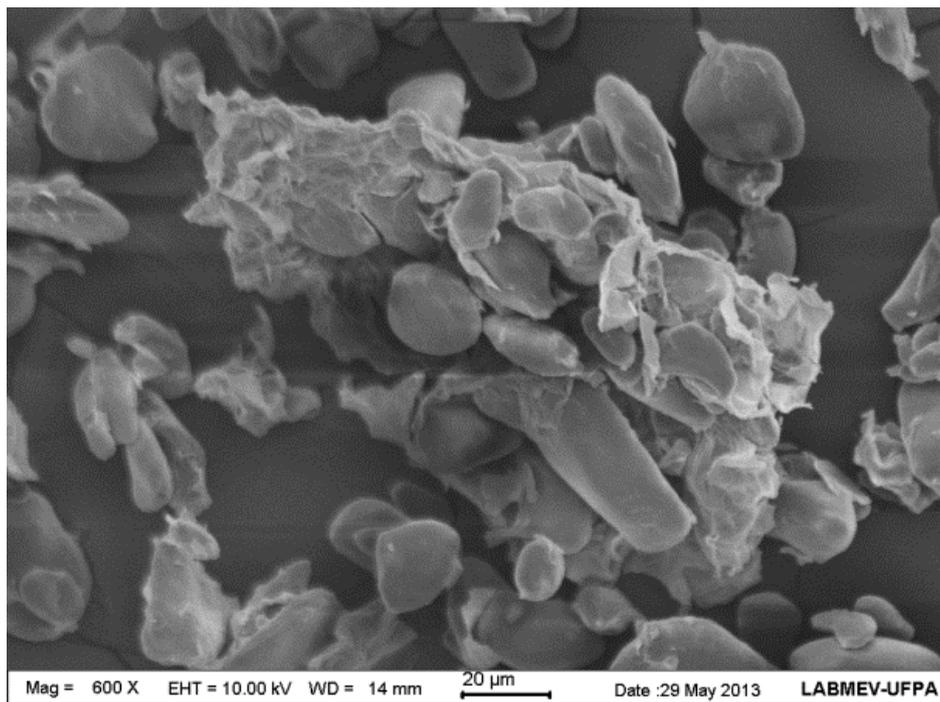
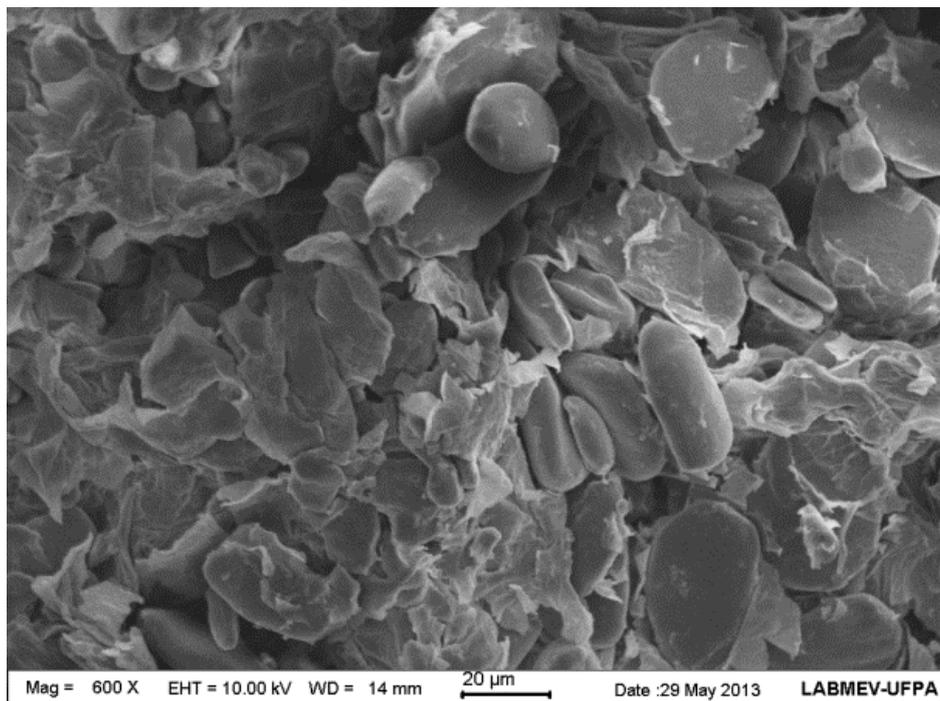


Figura 27. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV): A - Amostra FBV (padrão); B - Amostra 5,5% / 145°C.

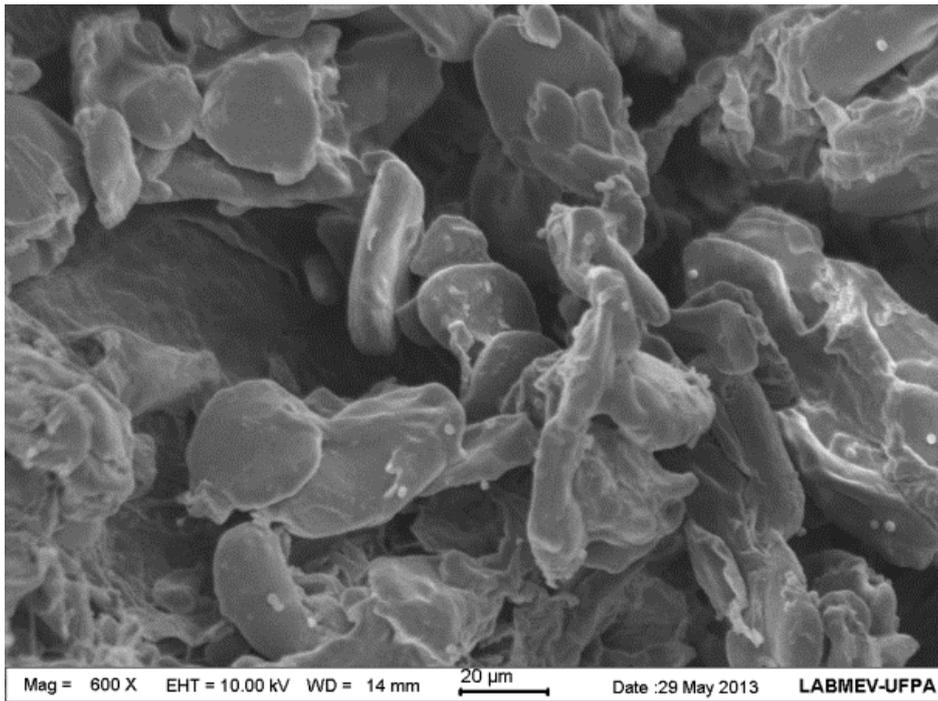


28-A

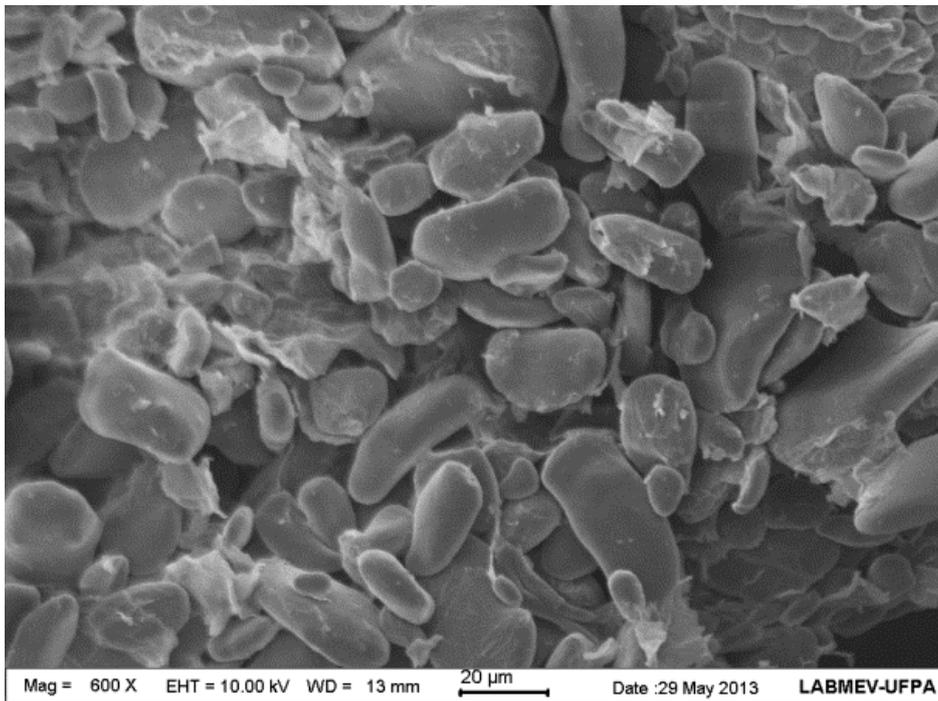


28-B

Figura 28. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV): A - Amostra 9,5% / 145 °C; B - Amostra 5,5% / 165°C.

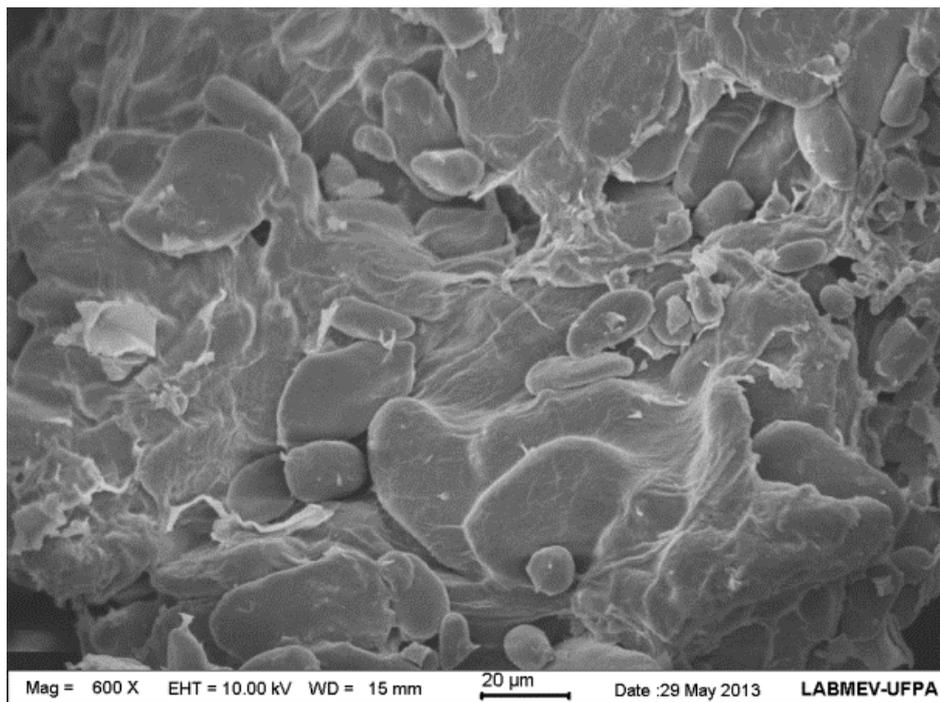


29-A

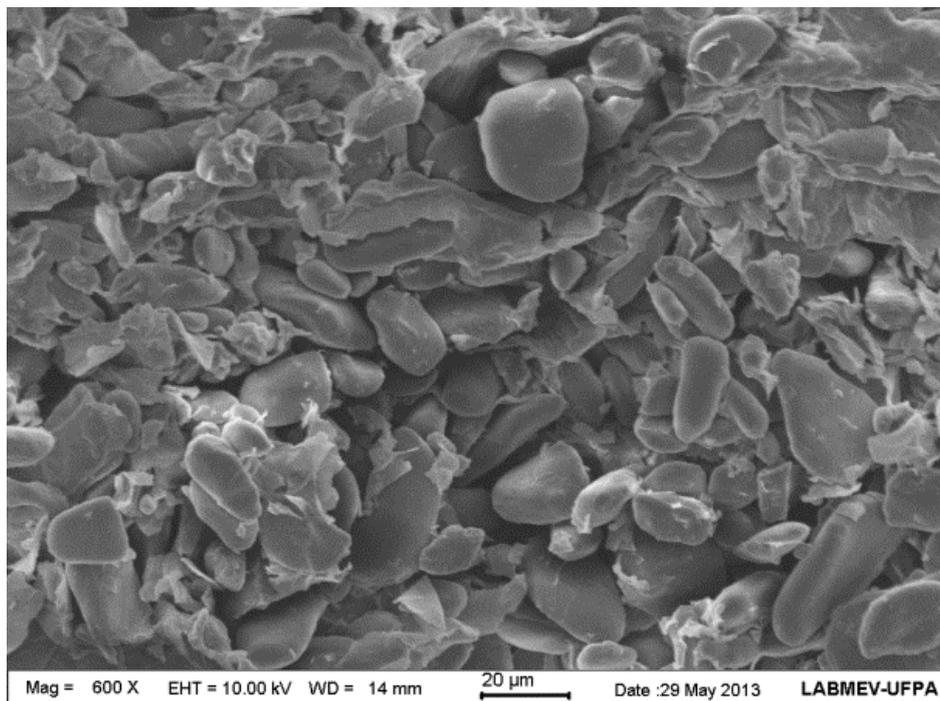


29-B

Figura 29. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV): A - Amostra 9,5% / 165 °C; B - Amostra 4,67% / 155°C.

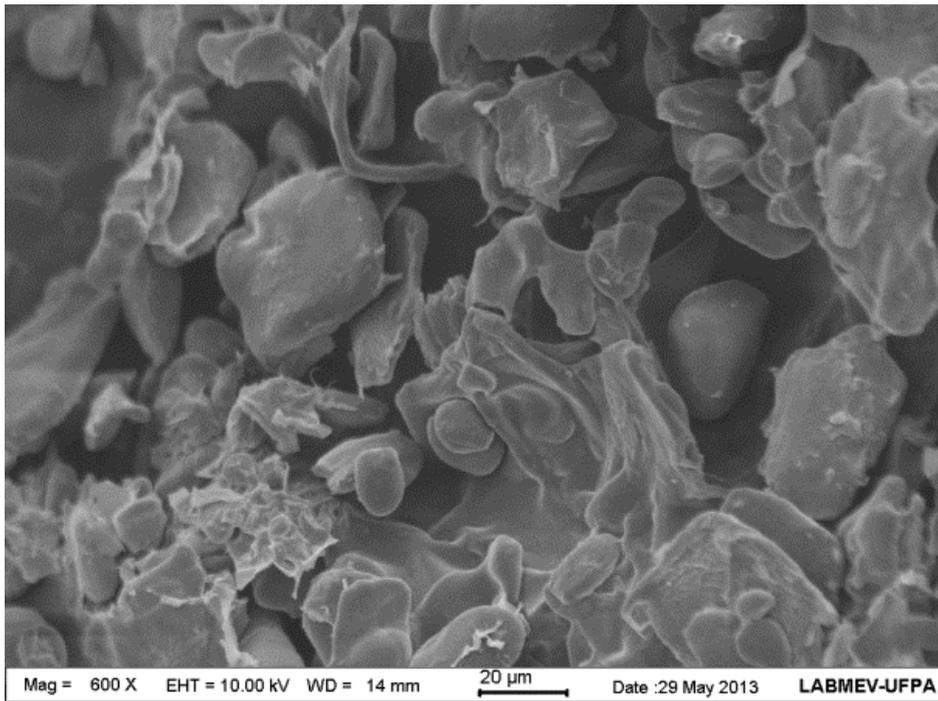


30-A

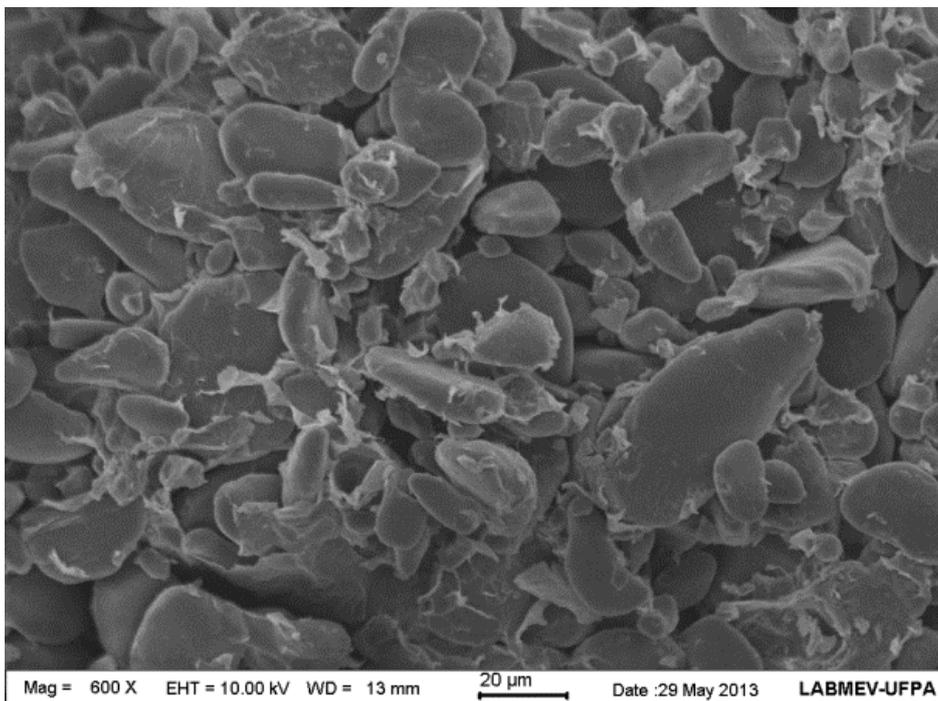


30-B

Figura 30. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV): A - Amostra 10,33% / 155 °C; B - Amostra 7,5% / 138°C.

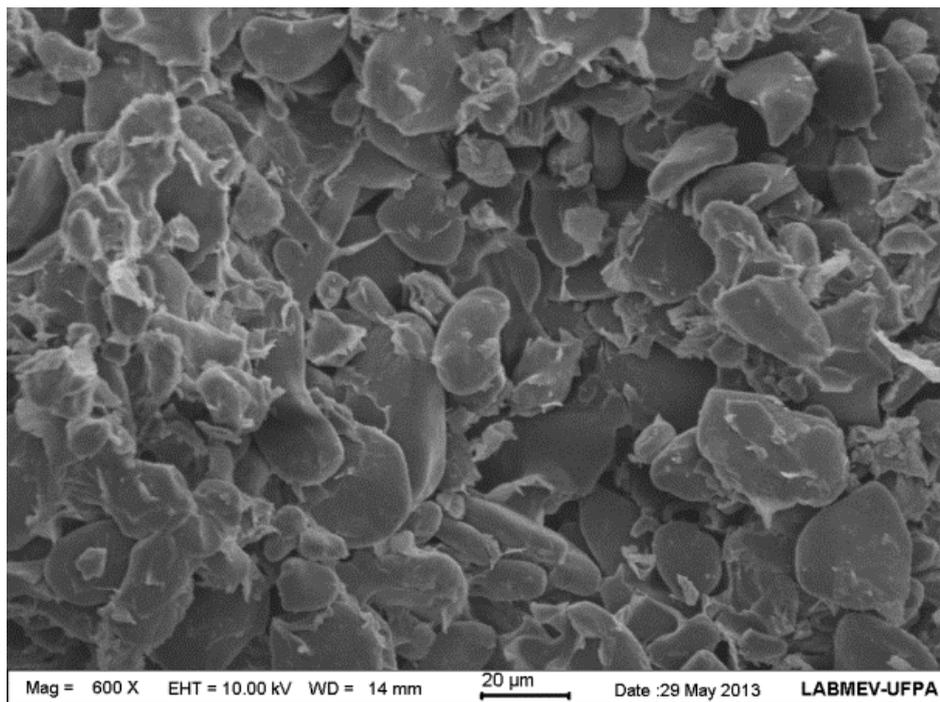


31-A

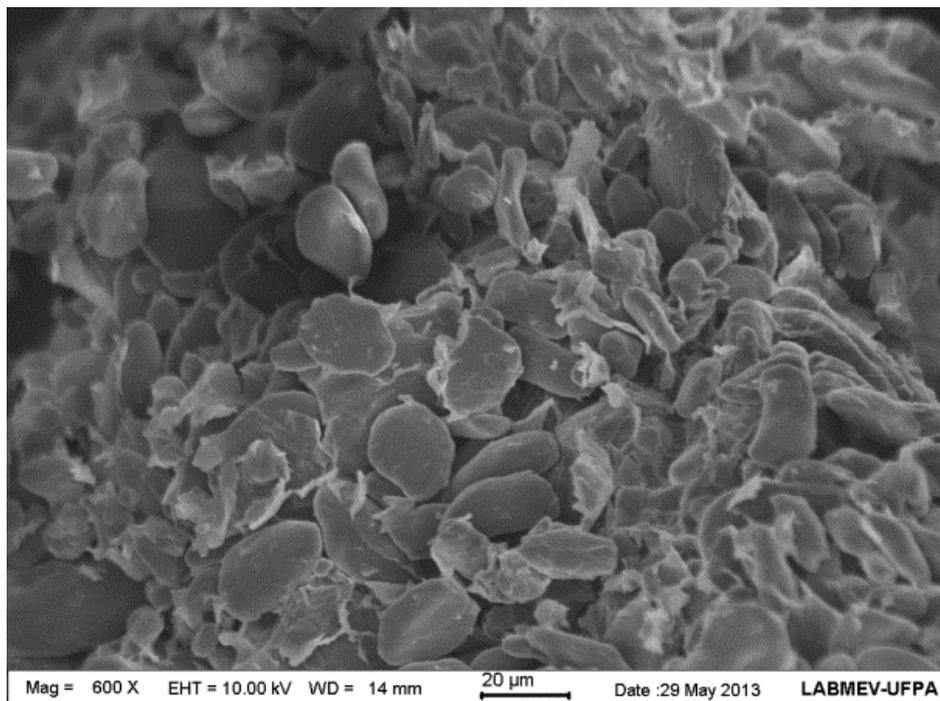


31-B

Figura 31. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV): A - Amostra 7,5% / 172 °C; B - Amostra 7,5% / 155°C.



32-A



32-B

Figura 32. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV): A - Amostra 7,5% / 155 °C; B - Amostra 7,5% / 155°C.

Observou-se que todas as amostras apresentaram grânulos de amido com formato elipsoide, sendo os grânulos maiores com formatos achatados e alongados e os grânulos bem menores com formato redondo, conforme descrito por Bezerra et al. (2013) e por Izidoro et al. (2007). Cereda (2001) descreveu que a espécie *Musa Cavendish* (incluindo a variedade Nanicão) possui tamanhos entre 15 e 20 μm .

Observa-se que as amostras submetidas ao tratamento de modificação com menor temperatura, como por exemplo, as amostras FBVM 1 (27-B) e FBVM 2 (28-A) apresentaram melhor integridade em formato dos grânulos de amido, diferente das amostras FBVM 3 (28-B) e FBVM 4 (29-A) que passaram por tratamento com maior temperatura, onde observou-se que os grânulos de amido aparentam estar aglomerados e envoltos em uma pasta, e alguns grânulos com superfície irregular, ranhuras, aparentando descamação e formato quebrado.

4.6 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE SÓDIO, TEOR DE FÓSFORO E DO GRAU DE SUBSTITUIÇÃO (GS)

Os valores médios obtidos para os teores de sódio (%), fósforo (%) e Grau de Substituição (GS) estão descritos na Tabela 30.

Tabela 34. Valores médios de sódio, fósforo e grau de substituição (GS) das amostras modificadas.

Ensaio	Amostras (C/T)	Fósforo %	Sódio %	GS
	FBV (padrão)	0,12	0,19	-
FBVM 1	5,5%/145°C	0,43	0,21	0,012
FBVM 2	9,5%/145°C	0,50	0,33	0,019
FBVM 3	5,5%/165°C	0,48	0,43	0,024
FBVM 4	9,5%/165°C	0,50	0,43	0,025
FBVM 5	4,7%/155°C	0,45	0,33	0,018
FBVM 6	10,3%/155°C	0,52	0,31	0,017
FBVM 7	7,5%/138°C	0,57	0,29	0,016
FBVM 8	7,5%/172°C	0,87	0,57	0,033
FBVM 9	7,5%/155°C (PC)	0,49	0,35	0,019
FBVM 10	7,5%/155°C (PC)	0,63	0,49	0,027
FBVM 11	7,5%/155°C (PC)	0,44	0,22	0,012

C = concentração do reagente (%); T = temperatura de modificação (°C); (PC) = ponto central.

Os parâmetros sódio, fósforo e GS não apresentaram respostas importantes, pois não foram observados os efeitos significativos (linear, quadrático e interação) das variáveis independentes estudadas.

Apesar de as respostas não terem sido significativas, foi observado um aumento dos teores de fósforo e sódio para todas as amostras modificadas, o que sugere que houve clivagem dos grupos hidroxila e inclusão do grupamento iônico fosfato na estrutura do amido, caracterizando a modificação química das amostras. Limberger et al. (2008) realizaram o processo de fosfatação em amido de quireira de arroz e submeteram as amostras fosfatadas à diálise para redução do teor de fósforo, sendo que mesmo após esse procedimento, as amostras fosfatadas apresentaram teor de fósforo superior ao do amido nativo, indicando que o processo foi efetivo para promover a ligação do fósforo ao amido, bem como Pereira e Ascheri (2010) que também realizaram modificação química de amido da Fruta-de-Lobo e observaram um aumento significativo do teor de fósforo para as amostras de amido modificado em relação ao do amido nativo, indicando mais uma vez, que o processo foi efetivo ao promover a ligação do fósforo com o amido.

Dentre as amostras modificadas, observou-se que somente a amostra FBVM 1 apresentou valor de fósforo aceitável de até 0,4%, conforme Portaria ANVISA nº 540 de 1997, em detrimento das outras amostras, que apresentaram valores acima 0,4%, estando acima do recomendado pelo Codex Alimentarius. A maioria das amostras apresentou valores de GS em conformidade com a legislação brasileira como relatado por Paschall (1964) para o processo empregado.

Conforme Bemiller e Huber (2010), a acetilação até um valor máximo permitido em amidos modificados para serem utilizados em alimentos é de GS igual ou menor 0,09. Nos Estados Unidos o valor aceitável permitido é de 0,002. Ainda que o teor de fósforo tenha sido superior ao limite que a legislação brasileira preconiza para a maioria das amostras, os valores observados não foram muito superiores a esse limite.

5. CONCLUSÃO

O processo de modificação química do amido na farinha de banana verde utilizando as variáveis independentes “concentração” e “temperatura”, seguindo-se um planejamento composto central de 2^2 , derivou nas seguintes conclusões:

- A ANOVA obtida para o parâmetro “amido resistente” não foi considerada para fins preditivos, pois o teste F da regressão não foi significativo, bem como o coeficiente de determinação (R^2) que não foi considerado satisfatório, pois explicou somente 36,26% da variação dos dados experimentais;
- Usando o tripolifosfato de sódio (TPS), observou-se que houve melhoria do índice de absorção de água (IAA), em detrimento do índice de solubilidade em água (ISA) que não apresentou respostas estatisticamente significativas nas condições das variáveis estudadas;
- A Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) demonstrou uma resposta significativa, onde a temperatura foi a variável de maior influência nesse parâmetro, visto que houve melhoria das características de formação de gel em temperaturas mais baixas, pela conseqüente diminuição da temperatura de gelatinização, conforme era desejado;
- Observou-se através das imagens de MEV, uma diferenciação entre as amostras modificadas em relação à farinha padrão (amido nativo), onde foi possível notar a formação de aglomerados de grânulos de amido envoltos em pasta e amidos com superfícies irregulares apresentando descamação, evidenciando que o processo de modificação dos amidos ocorreu;
- Os parâmetros sódio, fósforo e GS não apresentaram respostas significativas na análise estatística, no entanto, foi observado um aumento dos teores de fósforo e sódio para todas as amostras modificadas, o que sugere que houve clivagem dos grupos hidroxila e inclusão do grupamento iônico fosfato na estrutura do amido, indicando que a modificação química ocorreu.

De um modo geral, pode-se concluir que o processo de modificação química do amido com tripolifosfato de sódio foi satisfatório, no entanto, a modificação mais adequada depende dos limites estabelecidos na legislação que estabelece o máximo de 0,4% de fósforo na constituição do amido. Dessa forma, a modificação que alcançou um valor ainda dentro do limite da legislação foi a que utilizou a concentração de 5,5 % de reagente TPS e a temperatura de modificação de 145 °C, correspondendo a amostra FBVM 1, pois nessas condições obteve-se uma amostra com 0,43 % de fósforo na constituição do amido e um GS de 0,012 (aceitável para amidos de grau alimentício), enquanto que as outras amostras tiveram valores de fósforo acima do limite da legislação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC. American Association of Cereal Chemists. **Approved Methods of American Association of Cereal Chemists**. 1997.

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of the AOAC International**, 18th ed. Maryland/USA: AOAC, 2005.

AGRIANUAL. **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria & Comércio, 2003.

AMBRIZ, S. L. R.; HERNÁNDEZ, J. J. I.; ACEVEDO, E. A.; TOVAR, J.; PÉREZ, L. A. B. Characterization of a fibre-rich powder prepared by liquefaction of unripe banana flour. **Food Chemistry**. v. 107, n. 4, p. 1515 – 1521, abr. 2008.

ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. F.; GRIFFIN, L. Jr. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. **Cereal Science Today**. Minneapolis, v. 14, n. 1, p. 4 - 7, 1969.

AZEREDO, H. M. C. Encapsulação: aplicação à tecnologia de alimentos. **Alimentos e Nutrição**, v. 16, n. 1, p. 89-97, jan./mar., 2005.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos**: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria. 2ª ed. Campinas, São Paulo: Editora da UNICAMP, 2003.

BATISTA, W. P.; SILVA, C. E. M.; LIBERATO, M. C. Propriedades químicas e de pasta dos amidos de trigo e milho fosforilados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos** [online], v. 30, n. 1, p. 88-93, fev. 2010.

BEMILLER, J. N.; HUBER, K. C. Carboidratos. In: DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. 4ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

BEMILLER, J. N.; WHISTLER, R. **Starch: chemistry and technology**. 3ª edição. New York: Academic Press, 2009.

BEZERRA, C. V.; AMANTE, E. R.; OLIVEIRA, D. C.; RODRIGUES, A. M. C.; SILVA, L. H. M. Green banana (*Musa cavendishii*) flour obtained in spouted bed – Effect of drying on physic-chemical, functional and morphological characteristics of the starch. **Industrial crops and products**, n. 41, p. 241-249, jan. 2013.

BORBA, A. M.; SARMENTO, S. B. S.; LEONEL, M. Efeito dos parâmetros de extrusão sobre as propriedades funcionais de extrusados da farinha de batata-doce. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 4, p. 835 - 843, out.- dez. 2005.

BORGES, A. L. Calagem e adubação. In: BORGES, A. L.; SOUZA, L. S. **Cultivo da bananeira**. Cruz da Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004.

BORGES, A. L.; SOUZA, L. S. Exigências edafoclimáticas. In: BORGES, A. L.; SOUZA, L. S. **Cultivo da bananeira**. Cruz da Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004.

BORGES, A. M.; PEREIRA, J.; JÚNIOR, A. S.; LUCENA, E. M. P.; SALES, J. C. Estabilidade da pré-mistura de bolo elaborada com 60% de farinha de banana verde. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, vol. 34, n 1, p. 173-181, jan/fev., 2010.

BORGES, A. M.; PEREIRA, J.; LUCENA, E. M. P. Caracterização da farinha de banana verde. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 2, p. 333-339, abr.-jun. 2009.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução - RDC nº 263 de 22 de setembro de 2005: Aprova o “Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos”. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 23 set. 2005. Disponível em:

http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/1ae52c0047457a718702d73fbc4c6735/RDC_263_2005.pdf?MOD=AJPERES. Acesso em: maio de 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução - RDC nº 259, de 20 de setembro de 2002:Regulamento técnico sobre rotulagem de alimentos embalados. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, Brasília, 23 set. 2002. Disponível em: http://websphere.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/36bf398047457db389d8dd3fbc4c6735/RDC_259.pdf?MOD=AJPERES. Acesso em: maio de 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 540, de 27 de outubro de 1997. Aprova o Regulamento Técnico: Aditivos Alimentares – definições, classificação e emprego. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, Brasília, 28 out. 1997. Disponível em: http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/d1b6da0047457b4d880fdc3fbc4c6735/PORTARIA_540_1997.pdf?MOD=AJPERES. Acesso em: maio de 2014.

CALADO, V.; MONTGOMERY, D. C. **Planejamento de experimentos usando *Statística***. Rio de Janeiro: E-papers serviços editoriais, 2003.

CARVALHO FILHO, C. D.; MASSAGUER, P. R. Processamento térmico de purê de banana (*Musa cavendishii*, lamb.) em embalagens flexíveis esterilizáveis. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 17, n. 3, p. 213 - 218. set.-out. 1997.

CARVALHO, R. V. de; ASCHERI, J. L. R.; VIDAL, J. C. Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de pellets (3G) de misturas de farinhas de trigo, arroz e banana. **Ciências e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 5, p. 1006 - 1018, set.- out. 2002.

CEREDA, M. P. **Propriedades gerais do amido**. In: Culturas de tuberosas amiláceas latino americanas. V. 1. São Paulo: Fundação Cargill, 2001.

CEREDA, M. P. VILPOUX, O.; DEMIATE, I. M. Amidos modificados. In: CEREDA, M. P. VILPOUX, O. **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas latino americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, v. 3. Cap. 12, p. 246 – 332. 2003.

CORDEIRO, Z. J. M. **Sistema de produção de banana para o Estado do Pará**. Embrapa Mandioca e Fruticultura. Sistema de Produção, 9, ISSN 1678-8796, Jan/2003. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Banana/BananaPara/index.htm>. Acesso em: 26 de nov. de 2012.

CORDENUNSI, B. R.; SHIGA, T. M.; LAJOLO, F. Non-starch polysaccharide composition of two cultivars of banana (*Musa acuminata* L.: cvs Mysore and Nanicão). **Carbohydrate Polymers**, v. 71, n. 1, p. 26 – 31, jan. 2008.

DANIEL, A. P.; BOCHI, V. C.; STEFFENS, C.; SILVA, L. P.; EMANUELLI, T. Fracionamento a seco da farinha de aveia e modificação química da fração rica em amido. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 4, p. 936-943, out.-dez., 2006.

DANTAS, M. B.; ALBUQUERQUE, A.; SOLEDADE, L.; QUEIROZ, N.; MAIA, A. S.; SANTOS, I. M. G.; SOUZA, A. L.; CAVALCANTI, E. H. S.; BARRO, A. K.; SOUZA, A. G. Biodiesel from soybean oil, castor oil and their blends. **Journal of Thermal Analysis e Calorimetry**, v. 106, n. 2, p. 607, nov. 2011.

DARAMOLA, B.; OSANYINLUSI, S. A. Production, characterization and application of banana (*Musa* spp) flour in whole maize. **African Journal of Biotechnology**, v. 5, n. 10, p. 992 - 995, Maio. 2006.

ELIASSON, A. C. **Carbohydrates in food**. New York: CRC Press, 2006.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Agricultural production**: primary crops. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 22 dez. 2009.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Sandia**: composição nutricional. Disponível em: <<http://www.fao.org/inpho/content/documents/vlibrary/ae620s/Pfrescos/SANDIA.HTM#VN>>. Acesso em: 13 abr. 2010.

FASOLIN, L. H.; ALMEIDA, G. C. de; CASTANHO, P. S.; OLIVEIRA, E. R. N. Biscoitos produzidos com farinha de banana: avaliações química, física e sensorial. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 3, p. 524 - 529, jul.-set. 2007.

FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P.; EVANGELISTA, R. M.; NARDIN, I. Qualidade físico-química e de fritura de tubérculos de cultivares de batata na safra de inverno. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 3, jul.- set. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/hb/v28n3/v28n3a10>. Acesso em: 02 fev. 2015.

FIORAVANÇO, J. C. Mercado mundial da banana: produção, comércio e participação brasileira. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 33, n. 10, out. 2003.

FISK, C. H.; SUBBAROW, Y. The colorimetric determination of phosphorus. **Journal of Biological Chemistry**, v. 66, n. 2, p. 375-400, 1925.

FOLEGATTI, M. I. S.; MATSUURA, F. C. A. U. Processamento. In: BORGES, A. L.; SOUZA, L. S. **Cultivo da bananeira**. Cruz da Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004.

FREITAS, M. C. J.; TAVARES, D. Q. Caracterização do grânulo de amido de bananas (AAA-NANICÃO E AAB-*Musa Musa* TERRA). **Ciência e Tecnologia Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 2, p. 217 - 222, abr.- jun. 2005.

FRUTISÉRIES. **Banana**. Ministério da Integração Nacional – MI, 2000.

GARCIA, E. J.; ACEVEDO, E. A.; AYERDI, S. G. S.; AMBRIZ, S. L. R.; PÉREZ, L. A. B.. Composition, digestibility and application in breadmaking of banana flour. **Plant Foods for Human Nutrition**, v.61, p. 131-137, set. 2006.

GARCIA, V.; COLLONA, P.; LOURDIN, D.; BULEON, A.; BIZOT, H.; OLLIVON, M. Thermal transitions of cassava starch at intermediate water contents. **Journal of Thermal Analysis**, Londres, v. 47, n. 5, p. 1213-1228, 1996.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz, métodos químicos e físicos para análises de Alimentos**, 3ª. ed., vol.1, São Paulo: IMESP, 1985.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – LSPA**. Rio de Janeiro, v. 25, n. 2, p. 1-88, fev. 2012. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/default.shtm>. Acesso: 26 de nov. de 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, **Programa SIDRA: Bancos de Dados Agregados**. Disponível em: <www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 4 de jul. de 2008.

IZIDORO, D. R. **Influência do pré-tratamento com ultra-som e da secagem nas propriedades químicas, físicas e funcionais do amido de banana verde**. 2011. 201f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Instituto de Tecnologia de alimentos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2011.

IZIDORO, D.R.; JUNIOR, B.D.; HAMINIUK, C.W.I.; SIERAKOWSKI, M. R.; FREITAS, R. J. S. SCHEER, A. P. Granules morphology and rheological behaviour of starch gels, green banana (*Musa cavendishii*) and maize (*Zea mays*). **Revista Agrotecnológica de Lavras**, 31 (5), 1443–1448, set-out., 2007.

IZIDORO, D. R.; SCHEER, A. P.; NEGRE, M. F. O.; HAMINIUK, C.W.I.; SIERAKOWSKI, M. R. Avaliação físico-química, colorimétrica e aceitação sensorial de emulsão estabilizada com polpa de banana verde. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, vol. 67, n. 3, p. 167-176, 2008.

LEITE, J. T. C.; MURR, F. E. X.; PARK, K. J. Transições de fases em alimentos: influência no processamento e na armazenagem. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.7, n.1, p.83-96, 2005.

LEONEL, M.; MISCHAN, M. M.; PINHO, S. Z.; IATURO, R. A.; FILHO, J. D. Efeitos de parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de produtos expandidos de inhame. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 2, p. 459 - 464, abr.- jun. 2006.

LII, C. Y., CHANG, S. M., & YOUNG, Y. L. Investigation of the physical and chemical properties of banana starches. **Journal of Food Science**, v.47, p.1493-1497, 1982.

LIMBERGER, V. M.; SILVA, L. P.; EMANUELLI, T.; COMARELA, C.G.; PATIAS, L. D. Modificação química e física do amido de quirera de arroz para aproveitamento na indústria de alimentos. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 84-88, 2008.

LOBO, A. R.; LEMOS; SILVA, G. M. de. Amido resistente e suas propriedades físico-químicas. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 16, n. 2, p. 219-226, abr./jun., 2003.

MEIRA, V. C. R. S. **Preparação e caracterização de filmes de amido modificado por reticulação, acetilação e com adição de lipídios e celulose bacteriana**. 2012. 199 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2012.

MONDENESE, D. **Efeito da radiação gama e de tratamentos hidrotérmicos sobre as características físico-químicas, funcionais e nutricionais da farinha e do amido de banana verde (*Musa acuminata* cv. Nanica)**. 2011. 111 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade de São Paulo (USP) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2011.

MOTHÉ, C. G.; DAMICO, A.; MACHADO, M. G. S. Estudo termoanalítico, CLAE e fracionamento físico e químico do subproduto industrial do milho. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 1, p. 1-7, jan.-mar. 2005.

MUCCILLO, R. C. S. T. **Caracterização e avaliação de amido nativo e modificado de pinhão mediante provas funcionais e térmicas**. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

NASCIMENTO, J. R. O. do. Uso da biotecnologia para modificação do amido em plantas. In: LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W. **Carboidratos em alimentos regionais iberoamericanos**. São Paulo: Edusp, 2006.

ORDÓÑEZ, J. A. **Tecnologia de Alimentos**: Componentes dos alimentos e processos. Vol. 1. Porto Alegre: Editora Artmed, 2005.

PASCHALL, E. F. Phosphation with organic phosphate salts. In: WHISTLER, R.L. **Methods in carbohydrate chemistry**. New York: Academic Press, v. 4, p. 294-296, 1964.

PASTORINI, L. H.; BACARIN, M. A.; TREVIZOL, F. C.; BERVALD, C. M.; FERNANDES, H. S. Produção e teor de carboidratos não estruturais em tubérculos de batata obtidos em duas épocas de plantio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 4, p. 660-665, out./dez., 2003.

PEREIRA, K. D. Amido resistente, a última geração no controle de energia e digestão saudável. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27(supl.), p. 88 - 92, ago. 2007.

PEREIRA, L. D.; ASCHERI, D. P. R. Efeitos do tempo de reação e da concentração de tripolifosfato de sódio sobre a fosfatação do amido da Fruta-de-lobo. **Revista Processos Químicos**. v. 8, 4: 45-50. Jul./Dez. 2010.

PEREIRA, L. D.; ASCHERI, D. P. R. Efeito do tempo de reação em função da concentração de tripolifosfato de sódio sobre as propriedades físicas e químicas do amido da fruta-de-lobo (*Solanum lycocarpum*). **Revista Agrotecnologia**, Anápolis, v. 2, n. 2, p. 82-97, 2011.

PÉREZ, L. A. B.; MONTEALVO, M. G. M.; ACEVEDO, E. A. Almidón: definición, estructura y propiedades. In: LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W. **Carbohidratos em alimentos regionales iberoamericanos**. São Paulo: Edusp, 2006.

RAMOS, D. P.; LEONEL, M.; LEONEL, S. Amido resistente em farinhas de banana verde. **Alimentos e Nutrição**, v. 20, n. 3, p. 479-483, jul.-set. 2009.

SALGADO, S. M.; FARO, Z. P.; GUERRA, N. B.; LIVERA, A. V. S. Aspectos físico-químicos e fisiológicos do amido resistente. **Boletim da CEPPA**, Curitiba, v. 23, n. 1, p. 109 - 122, jan.-jun. 2005.

SEIBEL, N. F.; BELÉIA, A. Obtenção de novos ingredientes alimentares por Hidrólise enzimática de fibra de cotilédones de soja (*glycinemax*(l.) Merrill). **Publicatio UEPG - Ciências Exatas e da Terra, Agrárias e Engenharias**, Ponta Grossa, v. 14, n. 2, p. 171-175, ago. 2008.

SILVA, G. O.; TAKIZAWA, F. F.; PEDROSO, R. A.; FRANCO, C. M. L.; LEONEL, M.; SARMENTO, S. B. S.; DEMIATE, I. M. Características físico-químicas de amidos modificados de grau alimentício comercializados no Brasil.

Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 26, n. 1, p. 188 - 197, jan./mar. 2006.

SILVA, M. V.; ROSA, C. I. L. F.; VILAS BOAS, E. V. B. **Boletim da CEPPA**, Curitiba, v. 27, n. 1, jan./jun. 2009.

SILVA, S. A.; SOUZA, A. G.; CONCEIÇÃO, M. M.; ALENCAR, A. L. S. Estudo termogravimétrico e calorimétrico da algaroba. **Química Nova**, v. 24, n. 4, p. 460-464, 2001.

SILVA, T. P. L.; CABELLO, C. Propriedades da pasta e concentração de amido resistente em duas variedades de féculas de raízes de mandioca em diferentes estágios de desenvolvimento. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n. 1, p. 138-151, 2010.

SOEST J. J. G.; HULLEMAN, S. H. D., WIT, D.; Vliegenthart, J. F. G. Changes in the mechanical properties of thermoplastic potato starch in relation with changes in B-type crystallinity. **Carbohydrate Polymers**, v. 29, n. 3, p. 225-232, mar. 1996.

SOUZA, R. C. R.; ANDRADE, C. T. Investigação dos Processos de Gelatinização e Extrusão de Amido de Milho. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 10, n. 1, p. 24-30, 2000.

STATSOFT, INC. (2004). STATISTICA for Windows [Computer program manual]. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2325 East 13th Street, Tulsa, OK 74104, (918) 583-4149, fax: (918) 583-4376.

TADINI, C. C.; DITCHFIELD, C. Processo contínuo para obtenção de purê de banana (*Musa cavendishii*): aspectos de engenharia. In: LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W. **Carboidratos em alimentos regionales iberoamericanos**. São Paulo: Edusp, 2006.

TEIXEIRA, M. A. V.; CIACCO, C. F.; TAVARES, D. Q.; BONEZZI, A. N. Ocorrência e a caracterização do amido resistente em amidos de milho e de banana. **Ciência e Tecnologia de Alimentos** [online], Campinas, v. 18, n. 2, p. 246-53 Mai./Jul., 1998.

TONELLI, J. T. C. L.; MURR, F. E. X.; PARK, K. J. Estudo da reologia de polissacarídeos utilizados na indústria de alimentos. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, Especial, v. 7, n. 2, p. 181-204, 2005.

TORRES, L. L. G.; EL-DASH, A. A.; CARVALHO, C. W. P. Efeito da umidade e da temperatura no processamento de farinha de banana verde (*musa acuminata*, grupo aaa) por extrusão termoplástica. **Boletim da CEPPA**, Curitiba, v. 3, n. 2, p. 273-290, jul./dez. 2005.

TOVAR, J.; PÉREZ, L. A. B.; DÍAZ, P. O.; VILLALOBOS, R. R. Almidón resistente: caracterización y análisis. In: LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W. **Carboidratos em alimentos regionales iberoamericanos**. São Paulo: Edusp, 2006.

VIVIANI, L.; LEAL, P. M. Qualidade pós-colheita de banana Prata Anã armazenada sob diferentes condições. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n.3, p. 465-470, 2007.

WALTER, M.; SILVA, L. P.; EMANUELLI, T. Amido Resistente: características físico-químicas, propriedades fisiológicas e metodologias de quantificação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 4, p. 974 - 980, jul.- ago. 2005.

WILLIAMS, P. C.; KUZINA, F. D.; HIYNKA, I. A rapid colorimetric procedure for estimating the amylose content of starches and flours. **Cereal Chemistry**, v. 47, p. 411-421, 1970.