

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA**

**SISTEMA INTEGRADO DE ANÁLISE E
DISTRIBUIÇÃO DE RESULTADOS
APLICADOS À BEBIDA DE AÇAÍ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da Universidade Federal de São Carlos, para obtenção do título de Mestre em Biotecnologia.

Orientada: Sandra Maria Leandro Koizimi
Orientadores: Prof. Dr. José Dalton Cruz Pessoa
Prof. Dr. Luis Carlos Trevelin

**São Carlos/SP
2011**

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

K79si

Koizimi, Sandra Maria Leandro.

Sistema integrado de análise e distribuição de resultados aplicados à bebida de açaí / Sandra Maria Leandro Koizimi. -- São Carlos : UFSCar, 2011. 106 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2011.

1. Biotecnologia. 2. Espectroscopia no infravermelho próximo. 3. Açaí. 4. Orientação a objetos. I. Título.

CDD: 660.6 (20^a)

Sandra Maria Leandro Koizimi

Dissertação de Mestrado submetida
à Coordenação do Programa de
Pós-Graduação em Biotecnologia,
da Universidade Federal de São
Carlos, como requisito parcial para
a obtenção do título de Mestre em
Biotecnologia

Aprovado em: 05/08/2011.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. José Dalton Cruz Pessoa (Orientador)
(EMBRAPA)



Prof. Dr. Marcos David Ferreira
(EMBRAPA)



Prof. Dr. Gustavo Henrique de Almeida Teixeira
(FCFRP/USP)

Dedico,
à minha querida mãe Maria Aparecida
Ninelli Leandro pelo amor incondicional,
apoio, conselhos, incentivos, força e
paciência em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, pela presença constante, guiando e iluminando os meus passos.

Aos meus pais, Maria Aparecida e Júlio (*in memoriam*), que me deram a vida e me ensinaram a vivê-la com dignidade, sabedoria, respeito e humildade.

À minha filha Julia, meu maior tesouro, sempre compreensiva com a minha ausência durante os períodos mais críticos nesses anos de estudo.

Ao meu marido Claudio pelo amor, companheirismo, apoio e paciência.

Ao meu irmão Júlio por sempre me apoiar nos momentos de dificuldade e partilhar as alegrias das minhas conquistas.

Aos meus orientadores Dr. José Dalton Cruz Pessoa e Dr. Luis Carlos Trevelin pelos conhecimentos, disponibilidade, incentivo e confiança ao fazerem desse trabalho científico um exercício de realização profissional e pessoal.

À Valquíria Garcia Lopes por ser o meu referencial de paciência durante os experimentos, doutora na ciência da boa vontade e mestre na amizade.

Ao Prof. Dr. Célio Pasquini (Instituto de Química/UNICAMP) e coordenador do Instituto Nacional de Ciências e Tecnologias Analíticas Avançadas (INCTAA) pela disponibilidade e pelos ensinamentos.

Ao Prof. Dr. Gustavo Henrique Teixeira (FCFRP/USP) pelo apoio essencial, amizade, prontidão, conhecimentos valiosos e pela disponibilização do NIR.

Ao amigo e companheiro de trabalho Antônio Marcos pelo incentivo e apoio inicial junto ao PPG-BIOTEC.

À Embrapa Instrumentação São Carlos, por fornecer toda estrutura física e tecnológica para a realização deste trabalho. Agradecimentos especiais: Ednaldo Ferreira, Dr. Washington, Dr. Vaz, Silviane, Mattêo, Paulo Lasso, Gustavo de Paula, Jacqueline, Valentim, Elita e Cristina Picchi.

Aos professores e funcionários do PPG-BIOTEC, em especial ao Prof. Dr. Fernando M. Araújo-Moreira pelo acolhimento inicial e à Cláudia Pastega pela disponibilidade e prontidão no atendimento.

À Profa. Dra. Marilde Terezinha Prado Santos pela contribuição científica desde a minha graduação, especialização e por aceitar o convite para integrar a banca de qualificação deste trabalho.

Às professoras Dra. Lucimara Aparecida Forato e Dra. Maria Olímpia de Oliveira Rezende por terem aceitado integrar a banca examinadora deste trabalho.

À minha prima-irmã Roseli Ap. Leandro pelo incentivo e apoio.

À minha tia-mãe Josefina pelas orações e preocupação.

Ao Sr. Otacilio Frigo, da agroindústria Santo Expedito, pelas amostras enviadas.

À Maria Falcão por disponibilizar a licença gratuita do Unscrambler (Camo Software Inc.).

À empresa Terroni Equipamentos Científicos (São Carlos-SP) pelo suporte experimental emergencial.

Ao Centro Paula Souza por conceder meu afastamento parcial das aulas, em especial ao meu coordenador Rosalem.

À Fundação Educacional São Carlos e a todos os membros do Programa de Inclusão Digital (PID), em especial a minha coordenadora Rogéria Kapp Cardoso por ajustar o meu horário nos momentos críticos.

À Janaína Dias Goulart e ao Wellington Rocha pelo apoio, incentivo, amizade e pelas dicas relevantes ao projeto.

Aos Companheiros do Laboratório de Inovação e Pós-colheita: Alan, Ana Lúcia, Cleia, Daniele, Diego, Gisele, Glaucia, Henrique, Josiane, Karina, Raphael, Renato, Samuel e Thais pela convivência, troca de experiências e amizade que não se desfazem com o tempo e a distância.

A todos os meus alunos, amigos e familiares pela torcida.

Muito obrigada a todos que me acompanharam nessa trajetória, vocês possuem um lugar especial no meu coração!

SUMÁRIO

Capítulo 1

Introdução geral	12
Objetivo Geral.....	15
Objetivos Específicos	15

Capítulo 2

Espectroscopia no infravermelho próximo para quantificação dos sólidos totais em bebidas de açaí	16
Introdução.....	17
Material e Métodos	30
Resultados e Discussão	35
Conclusão.....	41

Capítulo 3

Espectroscopia NIR na determinação do efeito da água na polpa de açaí liofilizada	42
Introdução.....	43
Material e Métodos	44
Resultados e Discussão	47
Conclusão.....	51

Capítulo 4

Análise preliminar: distribuição anual do teor de antocianinas na bebida de açaí	52
Introdução.....	53
Material e Métodos	57
Resultados e Discussão	60
Conclusão.....	61

Capítulo 5

Proposta para integração de recursos e distribuição de resultados de análises	62
Introdução.....	63
Metodologia	75
Resultados e Discussão	77
Conclusões.....	91

Capítulo 6

Conclusões e Trabalhos Futuros	92
Referências	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Exportações da bebida de açaí	13
Figura 2. Açaí	17
Figura 3. Fluxograma da cadeia produtiva do açaí.	20
Figura 4. Faixas de radiações do infravermelho.....	22
Figura 5. Principais métodos de calibração multivariada	29
Figura 6. Espectrofotômetro FT – NIRr	31
Figura 7. Espectros de reflectância difusa na região do infravermelho próximo (NIR) das bebidas de açaí reconstituídas, na faixa de espectral de 4.000 a 10.000 cm ⁻¹	35
Figura 8. Espectros de reflectância difusa na região do infravermelho próximo (NIR) das bebidas de açaí, após o pré-tratamento com a variação normal padrão (SNV).	36
Figura 9. Resultado final do modelo PLS para Validação Cruzada (interna) obtido com as amostras das bebidas reconstituídas.....	37
Figura 10. Scores nos dois primeiros componentes principais obtidos para todas as amostras empregadas na confecção do modelo PLS otimizado.....	38
Figura 11. Gráfico de variância explicada de Y (TST) em função das variáveis latentes ou fatores incluídos no modelo.....	39
Figura 12. Validação externa do modelo PLS otimizado.....	39
Figura 13. Microtomógrafo de Raios-X (SkyScan 1172)	47
Figura 14. Espectros de reflectância na região NIR das polpas de açaí liofilizadas, no tempo T0.	47
Figura 15. Espectros de reflectância na região NIR das polpas de açaí liofilizadas, no tempo T1.	47
Figura 16. Espectros de reflectância na região NIR das polpas de açaí liofilizadas, no tempo T2.	48
Figura 17. Área dos espectros de reflectância difusa na região NIR das polpas de açaí liofilizadas, nos tempos t0, t1 e t2.	48
Figura 18. Microtomografia da polpa de açaí liofilizada.	50
Figura 19. Cátion flavílio.....	55
Figura 20. Antocianinas totais, nos períodos da safra e entressafra.....	60
Figura 21. Engenharia de Software.....	63
Figura 22. Desenvolvimento de requisitos.	64
Figura 23. Fluxo de produção.....	66
Figura 24. Interação entre Sistemas.	66
Figura 25. Diagrama de casos de uso do Sistema laça Análises.....	80
Figura 26. Diagrama de sequência Consultar Lote (SConsLote) – Curso Normal	81
Figura 27. Diagrama de sequência Consultar Lote (SConsLote) – Curso Alternativo....	82
Figura 28. Diagrama de sequência Processar espectroNIR – Curso Normal	83
Figura 29. Diagrama de sequência Processar espectroNIR – Curso Alternativo	84
Figura 30. Diagrama de classes do Sistema laça Análises.....	86
Figura 31. Arquitetura do Sistema laça Análises.....	87
Figura 32. Modelo de Rede do Sistema laça Análises.....	88
Figura 33. MER Sistema laça Análises	89
Figura 34. Modelo de Pacotes de Componentes	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Regiões espectrais do infravermelho.	22
Tabela 2. Vantagens e desvantagens da NIRS.....	23
Tabela 3. Aplicações da NIRS em frutos.....	24
Tabela 4. Região espectral e transições eletrônicas no NIR.....	26
Tabela 5. Sólidos totais e diluições para 1 grama de açaí.	31
Tabela 6. Valores previstos de TST em bebidas de açaí, para as amostras de validação externa empregando-se o modelo PLS otimizado.	40
Tabela 7. Quantidade de água destilada (m/v) adicionada até a reconstituição da bebida de açaí.....	45
Tabela 8. Volume e a porosidade das amostras de açaí, referente ao mês de fevereiro de 2010.	49
Tabela 9. Definição dos Atores do Sistema laça Análises.	77
Tabela 10. Lista de Casos de Usos do AtorAdministrador.....	78
Tabela 11. Lista de Casos de Uso do AtorConsumidor.....	79

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Aa	Atividade de água
A.O.A.C	<i>Association of Official Analytical Chemists</i>
ASTM	<i>American Society for Testing Materials</i>
AT	Antocianinas totais
BD	Banco de dados
CAC	Comissão do Codex Alimentarius
CCPFV	<i>Codex Committee on Processed Fruits and Vegetables</i>
CLS	Regressão clássica dos mínimos quadrados (<i>Classical Least Squares Regression</i>)
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CP	Componente principal
CV	Coefficiente de variação
DERS	Documento de Especificação de Requisitos de <i>Software</i>
DNA	Ácido desoxirribonucleico (<i>deoxyribonucleic acid</i>)
ER	Entidade-relacionamento
ES	Engenharia de <i>software</i>
FIR	Infravermelho distante (<i>Far Infrared</i>)
HTTP	Protocolo de Transferência de Hipertexto (Hypertext Transfer Protocol)
IAC	Instituto Agrônomo.
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBRAF	Instituto Brasileiro de Frutas
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
ISO	International Organization for Standardization
JSF	Java Server Pages
LIPCo	Laboratório de Inovação em Pós-colheita
MAPA	Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento
MER	Modelo Entidade Relacionamento
MID	Infravermelho Médio (<i>Middle Infrared</i>)
MLR	Regressão Linear Múltipla (<i>Multiple Linear Regression</i>)

MS	Matéria seca
MVC	Modelo, Visão e Controlador (<i>Model, View, Control</i>)
NIR	Infravermelho Próximo (<i>Near Infrared</i>)
NIRS	Espectroscopia no infravermelho próximo (<i>Near Infrared Spectroscopy</i>)
NIPALS	<i>Non-Iterative Partial Least Squares</i>
OMG	<i>Object Management Group</i>
PCA	Análise de Componentes Principais (<i>Principal Component Analysis</i>)
PCR	Regressão por Componentes Principais (<i>Principal Component Regression</i>)
PLS	Mínimos Quadrados Parciais (<i>Partial Least Squares</i>)
RF	Requisito funcional
RMSEC	Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático de Calibração (<i>Root mean square error of cross-validation</i>)
RMSEP	Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático de Previsão (<i>Root mean square error of prediction</i>)
RNA	Ácido ribonucleico (<i>ribonucleic acid</i>)
RNF	Requisito não funcional
SGBD	Sistema gerenciador de banco de dados
SAGRI	Secretaria de Estado e Agricultura do Estado do Pará
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SNV	Varição normal padrão (<i>Standard Normal Variate</i>)
TST	Teor de sólidos totais
UCs	Casos de Uso (<i>use cases</i>)
UML	Linguagem de Modelagem Unificada (<i>Unified Modeling Language</i>)
UV-VIS	Ultravioleta visível (<i>Ultraviolet-visible</i>)
VL	Variável latente

Resumo

O açazeiro (*Euterpe Oleracea* Mart) é uma palmeira tropical, nativa da Amazônia. A principal aplicação do fruto do açazeiro é a obtenção da bebida de açaí. Estima-se que o mercado internacional da bebida de açaí cresceu 65% a.a. nos últimos três anos, seguido do mercado nacional, 55% a.a., e da região metropolitana de Belém, 14% a.a.. O Brasil é o único exportador deste produto, contudo sementes de açaí estão sendo plantadas em países com clima semelhante. Para aumentar a competitividade nacional é necessário desenvolver ferramentas tecnológicas que orientem a agroindústria no monitoramento contínuo e na melhoria da qualidade. A Espectroscopia no Infravermelho Próximo (NIRS) tem se consagrado como uma técnica analítica de resposta rápida e, portanto adequada ao monitoramento de processos. O espectro pode, a princípio, ser relacionado a variáveis físicas e à qualidade do produto. Entre as variáveis utilizadas pelo mercado encontram-se o teor de matéria seca e o teor de antocianinas. Neste trabalho, apresenta-se um indicador de desempenho competitivo, construído a partir de modelos de regressão. Objetiva-se determinar uma relação entre estas variáveis e os respectivos espectros NIR, contrapondo os métodos analíticos convencionais utilizados pela agroindústria atualmente. Esta relação será codificada em um sistema utilizando uma plataforma de *software* livre, através do paradigma da orientação a objetos.

Palavras-chave: açaí, NIRS, PLS, antocianinas, sólidos totais, orientação a objetos.

Abstract

The açai palm (*Euterpe oleracea Mart*) is a tropical palm tree native to the Amazon. The main purpose of using the fruit is an açai drink. It is estimated that the international açai drink market grew 65% in the last three years, followed by the national market 55% and the metropolitan area of Belém 14% a year. The Brazil is the only exporter of this product, however açai seeds are being planted in countries with similar climate. To raise the barrier to these new competitors is necessary to develop technological tools to guide the agricultural industry in the ongoing monitoring and quality improvement. The Near Infrared Spectroscopy (NIRS) has been established as an analytical technique using rapid response and therefore suitable for monitoring processes. Its spectrum can be related to physical variables and product quality. Among the variables used in the market are the dry matter content and anthocyanin content. This paper presents an indicator of competitive performance, constructed from regression models. It aims to establish a relationship between these variables and their NIR spectra, contrasting the conventional analytical methods currently used by agribusiness. This relationship is codified in a system using a free software platform, through the paradigm of object oriented programming.

Key words: açai, NIRS, PLS, anthocyanins, soluble solids, object oriented.

Capítulo 1

Introdução Geral

O Brasil é o terceiro maior polo produtor de frutas do mundo, graças às suas condições de solo e de clima diversificado, perdendo apenas para a China e a Índia. De acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Frutas (IBRAF), em 2008 a produção nacional superou 43 milhões de toneladas, o que representou cerca de 5% do mercado mundial. Cerca de 53% da produção brasileira destina-se ao setor de frutas processadas e 47% ao mercado de frutas frescas (AGÊNCIA SEBRAE, 2009).

As agroindústrias brasileiras, ligadas ao segmento de frutas, tendem a adaptarem-se à ampliação do mercado potencial, as exigências dos consumidores e a concorrência. Dessa forma, aproveitam a oportunidade para realizarem o processamento de frutas em polpas, concentrados e semi-elaborados, os quais são destinados às indústrias de sucos e derivados prontos para o consumo. Também fornecerem matéria-prima para outras indústrias, como: as alimentícias, de cosméticos, químicas e farmacêuticas (BELIK et al., 2009).

Entre as cadeias produtivas de maior importância econômica, social e cultural da região Norte brasileira, destaca-se a agroindústria do açaí (NASCIMENTO et al., 2008), pois gera renda para inúmeras famílias ribeirinhas que vivem do extrativismo da fruta ou do plantio da palmácea. Estima-se que as atividades de extração, comercialização, transporte e industrialização de palmito e açaí são responsáveis por 25 mil empregos diretos, somente no estado do Pará (NOGUEIRA et al., 2005). Entre os estados brasileiros produtores de açaí, destacam-se: o Pará, o Maranhão, o Amapá, o Acre e Rondônia, sendo o primeiro, responsável por 86,8% da produção nacional com 93.772 t/ano do fruto (IBGE, 2007).

Até meados dos anos 90, considerou-se o açaí como sendo um produto básico na alimentação das populações ribeirinhas e das camadas de baixa renda, dos centros urbanos da amazônia (SANTANA; COSTA, 2006). Porém, sua expansão econômica tem sido impulsionada, não somente pelo avanço da

urbanização nas últimas décadas, mas principalmente pela mudança nos hábitos alimentares dos consumidores que estão cada vez mais preocupados e exigentes, valorizando produtos naturais, com qualidade e origem definida.

Atualmente, o Brasil lidera o mercado mundial como o maior produtor, consumidor e exportador de açaí (MENEZES et al., 2008), com expansão e valorização anuais significativas no mercado nacional e internacional (NOGUEIRA et al., 2005). Segundo os registros do porto de Belém, as exportações da bebida de açaí para os Estados Unidos e Itália iniciaram em 2000, mas oficialmente começaram em 2001. Em 2003, o valor exportado foi de US\$ 2,12 milhões, seguido de US\$ 5,04 milhões em 2004, sendo que 17% da produção foram consumidos no mercado local (SANTANA, 2006; SILVA, 2006). No ano de 2005 foram exportados US\$ 5,49 milhões (Figura 1), correspondendo a aproximadamente 2 a 3 mil toneladas da bebida (SANTANA, 2006).

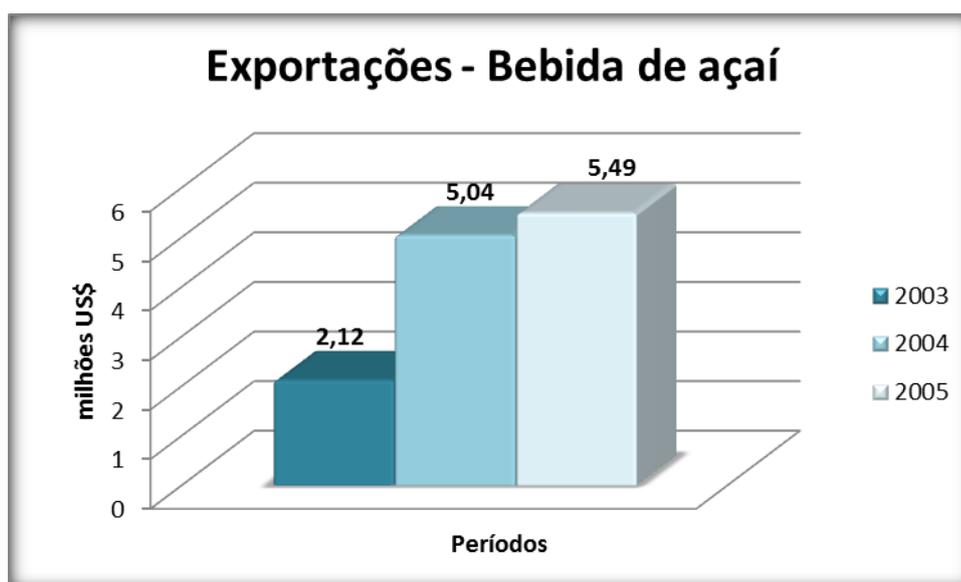


Figura 1. Exportações da bebida de açaí

A produção de açaí em 2007 totalizou 108.033 toneladas, sendo 6,6% maior quando comparada ao ano anterior (IBGE, 2007). Estimaram-se no ano de 2007 que, somente na cidade de Belém, o consumo de açaí foi de 120 a 180 mil litros por dia (ALBARICI et al., 2007), com cerca de 3 mil estabelecimentos que comercializavam o açaí processado, atendendo a um consumo diário de 440 mil quilos do fruto (IBGE, 2007).

Conforme a Secretaria de Estado e agricultura do Estado do Pará (SAGRI) a produção de açaí em 2010 foi de 500 mil toneladas (PARÁ, 2011).

Contudo, sementes de açaí estão sendo plantadas em países com clima semelhante ao brasileiro. Segundo Santana (2007) apenas um pequeno grupo de agroindústrias brasileiras dispõem de tecnologia para fabricar a polpa na qualidade exigida pelo mercado internacional.

Visando aumentar a competitividade nacional, é necessário garantir a qualidade do produto e/ou processo, desenvolvendo ferramentas tecnológicas que incluam as especificações da legislação vigente e orientem a agroindústria no fornecimento de produtos e/ou serviços adaptados às necessidades dos consumidores.

Os métodos para avaliação dos parâmetros da qualidade dos alimentos podem ser destrutivos ou não destrutivos. Conforme Park e Antonio (2006), o método de estufa é o mais utilizado em alimentos e baseia-se na remoção da água por aquecimento. Porém, esse processo despense muito tempo, além do fato que a evaporação da água dos alimentos até o peso constante pode ocasionar uma superestimação da umidade e, conseqüentemente, a perda de substâncias voláteis.

Como alternativa aos processos de análises convencionais, os métodos multivariados de análise, associados à Espectroscopia de Infravermelho Próximo (NIRS), têm proporcionado inovações na determinação quantitativa de uma série de compostos em matrizes alimentícias por serem considerados não destrutivos. No entanto, para a exploração adequada das informações fornecidas pelas análises dos espectros NIR são utilizadas as técnicas quimiométricas.

Este trabalho sistematiza uma rede de controle para a produção da bebida de açaí em fluxo contínuo, através de um sistema que monitora e controla variáveis da qualidade da agroindústria de açaí e similares, assim como permite a caracterização automática do lote e o acesso remoto do cliente aos dados do produto.

Para isso, a pesquisa integra-se à Biotecnologia por ser uma ciência multidisciplinar que tem como perspectiva a fusão dos conhecimentos provenientes de diversas áreas que incluem a ciência básica, a ciência aplicada e outras tecnologias como a Informática. Como ciência, tem potencial para oferecer suporte ao desenvolvimento de novos produtos, bem como abrange técnicas que aplicadas

à agroindústria alimentícia aumentam a qualidade dos produtos e dos processos produtivos de maneira eficiente e sustentável.

Objetivo Geral

Propor um sistema de monitoramento e controle de variáveis da qualidade da agroindústria de açaí e similares durante o fluxo de processamento, assim como a caracterização automática do lote e o acesso remoto do cliente aos dados do produto.

Objetivos Específicos

1. Desenvolver um modelo computacional para medida de teor de sólidos totais da bebida de açaí utilizando a espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS);
2. Determinar a disponibilidade de antocianinas durante o ciclo de produção de um sitio em terra firme, com praticas agrícolas conhecidas, definidas e administração profissionalizada.
3. Propor uma rede de monitoramento baseada na Linguagem de Modelagem Unificada (UML) e no paradigma da Orientação a Objetos (OO).

Capítulo 2

Espectroscopia no infravermelho próximo para quantificação dos sólidos totais em bebidas de açaí

Resumo: O açaizeiro (*Euterpe Oleracea* Mart) é uma palmeira tropical, nativa da Amazônia. A principal aplicação do fruto do açaizeiro é a obtenção da bebida de açaí, um produto cuja classificação mercadológica depende do teor de sólidos totais (TST). O TST é a massa relativa de todas as substâncias orgânicas e inorgânicas contidas na polpa, cujo valor pode ser obtido por secagem em estufa a baixa temperatura. A desvantagem do método da estufa é o tempo de medida, que em operações industriais pode prejudicar o controle das especificações do produto. Uma alternativa é a utilização de técnicas de medida em tempo real como a espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS). Desta forma, este trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de um modelo de calibração utilizando a NIRS e o método dos Mínimos Quadrados Parciais (PLS), para classificar a bebida de açaí quanto ao TST. No ano de 2010 as bebidas foram adquiridas de dois fornecedores do Nordeste Paraense nos meses de fevereiro, abril, maio, junho, julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro. As bebidas foram liofilizadas por 96 horas. Pesou-se 1 grama de cada amostra liofilizada para reconstituir as bebidas nas concentrações de TST de 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 16% (m/v) . Os espectros no infravermelho próximo (NIR) foram coletados no modo de reflectância difusa. Utilizou-se a faixa espectral compreendida entre 10000 cm^{-1} e 4000 cm^{-1} , com 16 cm^{-1} de resolução e 64 varreduras. O TST das amostras foi determinado usando o método de referência da A.O.A.C. (1998, 925.23). Os espectros foram submetidos ao pré-tratamento com a variação normal padrão (SNV). Utilizou-se o filtro *smoothing* SG com 15 pontos na janela, para minimizar o ruído espectral. Os resultados indicam o potencial da NIRS para estimar o TST da bebida de açaí, conforme os padrões mínimos de qualidade.

Palavras-chave: açaí, *Euterpe oleracea*, sólidos totais, quimiometria, NIR, PLS.

Introdução

A cadeia do açaí

O açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) é uma palmeira tipicamente tropical, nativa da Amazônia, presente em terrenos de várzea, igapós e terra firme. Encontram-se no Estado do Pará as maiores reservas naturais dessa palmácea (NOGUEIRA et al., 2005).

Entre as espécies do gênero nativas do Brasil, as mais significantes do ponto de vista agroindustrial, são três: *E. edulis*, *E. oleracea* e a *E. precatória* (OLIVEIRA et al., 2000).

A espécie *E. oleracea* é conhecida pelos franceses como palmeira *Pinot*, pelos ingleses como *Euterpe palm* e pelos venezuelanos como manaca. No Brasil é chamada de açaí-do-Pará e do açaí do baixo Amazonas, apresenta multiplicidade de usos, destacando-se pela extração de palmito e pelos frutos, denominados popularmente de açaí. Com caule do tipo estipes, liso e altura entre 10 a 15 m, pode alcançar até 35 m (OLIVEIRA et al., 2000).

Os frutos do açaizeiro (Figura 2), denominados açaí, são drupáceos e arredondados, com diâmetro de 1 a 2 cm e massa variável de 0,8 a 2,3 gramas (ROGEZ, 2000). O mesocarpo (polpa) possui cerca de 1 mm de espessura, envolvendo um endocarpo duro no formato do fruto e contém uma semente no seu interior (HENDERSON; GALEANO, 1996).



Figura 2. Açaí. Fonte: Boletim, IAC, 200 (1998)

A polpa representa cerca de 15% do fruto e o caroço corresponde a 85% da massa total (TINOCO, 2005).

O açaí é tradicionalmente consumido em sorvetes, bebidas, doces, geléias e outros derivados, podendo ser aproveitado, também, para a extração de antocianinas. Além desses usos, pode ser associado à farinha de mandioca, ao peixe, camarão ou carne, verificando-se assim que o padrão de consumo do fruto diverge conforme os hábitos alimentares regionais do país (NOGUEIRA et al., 2005).

De modo geral, a principal finalidade de utilização do fruto do açaizeiro é a obtenção da bebida de açaí, um produto não fermentado, não concentrado, com um teor mínimo de sólidos totais (TST), juntamente com a adição de água. Conforme Pinheiro et al. (1984), o TST é de grande importância tanto para o consumo *in natura* como para o processamento industrial dos frutos, visto que elevados teores desses constituintes na matéria prima implicam em redução na adição de açúcares, menor tempo de evaporação da água e maior rendimento do produto.

Conforme a Instrução Normativa nº. 1 de 7 de janeiro de 2000 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), a “polpa de fruta” destinada ao consumo como bebida de açaí (BRASIL, 2000) é classificada em:

- a. Açaí grosso ou especial (tipo A): apresenta acima de 14% de sólidos totais, com aparência muito densa;
- b. Açaí médio ou regular (tipo B): apresenta de 11% a 14% de sólidos totais, com aparência densa;
- c. Açaí fino ou popular (tipo C): apresenta de 8% a 11% de sólidos totais, com aparência pouco densa.

Segundo o MAPA (2011), a ampliação do escopo da Comissão do Codex Alimentarius (CAC) sobre frutas e hortaliças processadas, não tem endosso para elaborar padrões para sucos e néctares de frutas. O Brasil pretende apresentar uma proposta de trabalho e/ou norma sobre o açaí. Porém, caso a proposta seja aceita pelo Codex Committee on Processed Fruits and Vegetables (CCPFV), estima-se a ampliação do escopo junto ao CAC a partir de novembro de 2013.

Dessa forma, existem inúmeros gargalos que limitam a eficácia produtiva da agroindústria brasileira nesse segmento. O processo de obtenção da bebida de açaí e o grau de beneficiamento são realizados de forma artesanal e com baixo índice tecnológico.

O fluxograma da cadeia produtiva da bebida de açaí (Figura 3), representada por três etapas interligadas:

- a. Etapa 1: Plantio do açaizeiro.
- b. Etapa 2: Beneficiamento do açaí (objeto principal da pesquisa).
- c. Etapa 3: Distribuição/transporte.

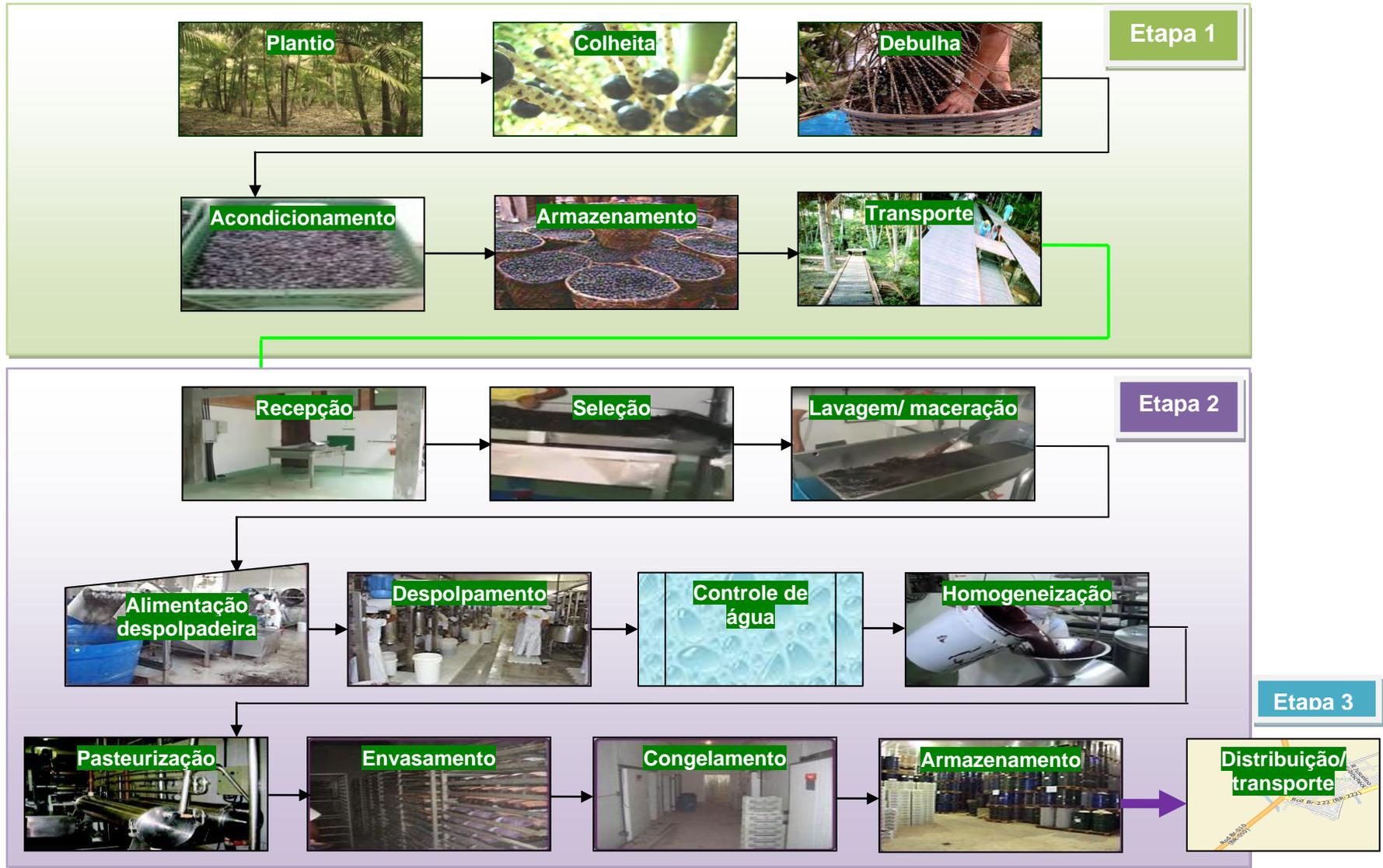


Figura 3. Fluxograma da cadeia produtiva do açaí.

Espectroscopia no Infravermelho Próximo (NIRS)

O foco desse trabalho concentra-se na etapa 2 da cadeia produtiva (Figura 3). Partindo desse princípio, torna-se necessário maximizar a qualidade do produto dada a sua importância e complexidade, desenvolvendo ferramentas tecnológicas que contemplem as especificações do MAPA e orientem a agroindústria brasileira frente aos concorrentes internacionais.

Porém, os métodos para avaliação da qualidade através de análises convencionais não são ideais para o monitoramento de insumos da agroindústria de alimentos e apresentam inúmeras desvantagens, tais como: empregam inúmeros testes físicos e químicos que despendem muito tempo, consomem muitos reagentes, necessitam de equipamentos e mão-de-obra especializada (MORGANO, 2005).

Os métodos multivariados de análise associados aos métodos usando a espectroscopia na região do infravermelho próximo (NIRS) têm proporcionado inovações através de inúmeras possibilidades e aplicações nas análises de alimentos.

Pode-se dizer que a espectroscopia é todo e qualquer processo de investigação das propriedades da matéria, através da sua interação com a radiação eletromagnética (HARRIS; BERTOLUCCI, 1978), em uma frequência específica, dando-nos informações valiosas sobre a sua estrutura físico-química.

Porém, na faixa de radiações no infravermelho (Figura 4), por ser muito extensa, encontram-se três regiões que recebem os nomes conforme sua proximidade do visível: infravermelho próximo (NIR), infravermelho médio (MIR, do inglês *Mid Infrared*) e infravermelho distante (FIR, do inglês *Far Infrared*). Em geral, para essas regiões, é possível realizar medidas de amostras em todos os estados e formas, tais como: gases, líquidos, sólidos, sistemas binários e terciários como os materiais semi-sólidos, pastas, géis etc. (SKOOG et al., 2005).

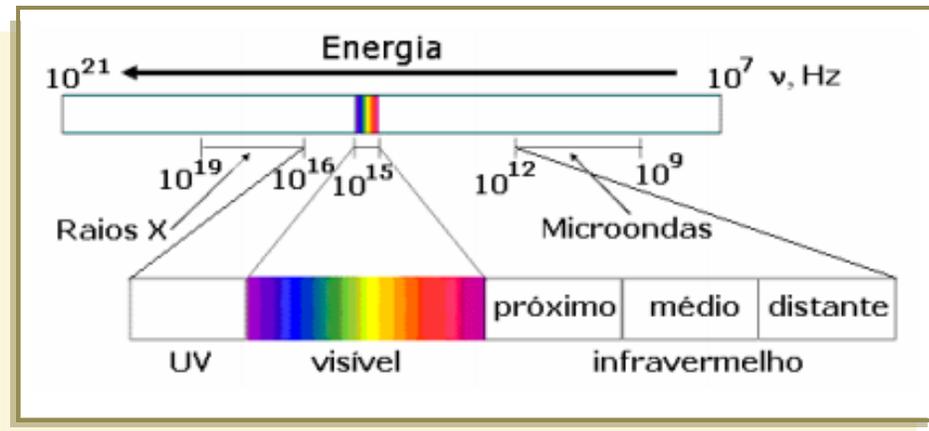


Figura 4. Faixas de radiações do infravermelho. Fonte: Santos, K. M. (2006)

Em linhas gerais, o NIR possui algumas características em comum com a luz visível, porém não é perceptível aos olhos humano. Encontram-se na Tabela 1 os limites aproximados para cada uma das regiões espectrais do infravermelho (SKOOG et al., 2005).

Tabela 1. Regiões espectrais do infravermelho.

Região	Intervalo de número de onda ($\bar{\nu}$), cm^{-1}	Região em comprimento de onda (λ), nm	Região em comprimento de onda (λ), μm	Região de frequência (ν), Hz
NIR	12.800 a 4.000	780 a 2.500	0,78 a 2,5	$3,8 \times 10^{14}$ a $1,2 \times 10^{14}$
MIR	4.000 a 200	2.500 a 5.000	2,5 a 50	$1,2 \times 10^{14}$ a $6,0 \times 10^{12}$
FIR	200 a 10	5.000 a 100.000	50 a 1.000	$6,0 \times 10^{12}$ a $3,0 \times 10^{11}$

Fonte: Skoog et. al (2005); Adaptação.

Atualmente, a busca por tecnologias emergentes para garantir a qualidade dos produtos e/ou serviços oferecidos tornou-se um alicerce fundamental para as organizações. Nesse contexto, encontra-se a NIRS, evidenciando-se nas seguintes áreas: petroquímica, alimentar, têxtil, farmacêutica, cosméticos, polímeros, agricultura, medicina, entre outras (PASQUINI, 2003). As principais vantagens e desvantagens da NIRS encontram-se sumarizadas na Tabela 2.

Tabela 2. Vantagens e desvantagens da NIRS.

Vantagens	Desvantagens
1. Técnica não destrutiva e não invasiva.	1. Preço dos equipamentos.
2. Manipulação mínima de amostras e rapidez nas análises.	2. Exige métodos quimiométricos para modelar os dados e quantificar as propriedades de interesse.
3. Baixo custo, não usa reagentes nas análises.	3. A calibração requer grande quantidade de amostras.
4. Permite a determinação de vários analitos da amostra, sem a necessidade de um procedimento analítico individual para cada um deles.	4. Difícil analisar uma amostra que apresente variabilidade (física ou química) não prevista na etapa de calibração.
5. Possibilita controle de processos em plantas industriais.	
6. Exatidão.	
7. Permite uso de equipamentos portáteis.	

Fonte: Bokobza (1998); Pasquini (2003); Gonzaga (2006); Adaptação.

Em relação à fruticultura, a NIRS desenvolveu-se rapidamente e vem sendo aplicada em diversos frutos (Tabela 3), para aferir a qualidade, maturação, bem como estimar a colheita (PEIRS et al., 2005), detectar a adulteração em alguns dos seus componentes (REID et al., 2006) e calibração de frutas (WALSH, 2005). Estes aspectos tornam esse método uma tecnologia com potencialidades para estimar inúmeros atributos em sistemas orgânicos e biológicos (HUANG, 2008). Encontra-se em Nicolaï et al. (2007a) uma ampla revisão bibliográfica sobre a aplicação da NIRS em frutos.

Tabela 3. Aplicações da NIRS em frutos.

Frutos	Referências
Ameixa	GOLIC; WALSH (2006); PAZ et al. (2008); CARVALHO et. al. (2010a)
Cereja	Lu (2001)
Kiwi	JORDEN et al. (2000); FU et al. (2007);
Laranja	CAYUELA (2008); LIU et al.(2010)
Limão	STEUER et al. (2001)
Maçã	ZUDE et al. (2006); NICOLAÏ et al. (2007b); CARVALHO et. al. (2010b); SANTOS (2009)
Mamão	SLAUGHTER et al. (1999)
Manga	SARANWONG et al. (2004)
Melancia	FLORES et al. (2008)
Melão	FLORES et al. (2008)
Morango	KWAK et al. (2007)
Pêra	NICOLAÏ et al. (2008); SANTOS (2009); CARVALHO et. al. (2010b)
Pêssego	GOLIC; WALSH (2006)
Tangerina	GÓMES et al. (2006)
Uva	MOIGNE et al. (2008)

Contudo, o espectro NIR é composto por picos de ondas individuais que variam conforme o material analisado. Pode-se interpretá-lo devido ao conceito que as ligações entre os átomos não são conexões estáticas, vibram o tempo todo, provocando compressão e estiramento das moléculas, com frequências específicas que podem ser descritas por leis físicas.

Assim, a força de ligação e as massas dos átomos participantes de uma ligação química determinam o deslocamento de um átomo em relação ao outro, conforme a lei de Hooke descrita na Equação 1 (BOKOBZA, 1998):

$$v = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\kappa}{\mu}}$$

Equação 1

Onde:

κ constante de força

μ massa reduzida

$$\mu = \frac{mM}{m + M}$$

Equação 1.1

Onde:

m e M massas dos átomos envolvidos

Por sua vez, a mecânica quântica impõe restrições dos níveis energéticos e determina quais vibrações são praticáveis. Partindo desse princípio, os níveis de energia vibracionais são definidos por meio da Equação 2 (BOKOBZA, 1998):

$$E_v = \left(x + \frac{1}{2} \right) h\nu \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

E_v energia vibracional

x número quântico vibracional

ν frequência de vibração fundamental

h constante de Planck.

Dessa forma, quando um fóton atinge uma molécula, se houver uma coincidência entre: a frequência da radiação eletromagnética, a frequência natural de vibração dos átomos na ligação química e existir uma variação do momento de dipolo (transição) ao longo da vibração, a molécula absorve a energia do fóton estimulando um aumento da amplitude vibracional dos átomos e da energia potencial vibracional máxima. Assim, medindo-se a absorbância de radiação por uma amostra, em função da energia dos fótons (variação do comprimento de onda ou da frequência), para a obtenção do seu espectro de absorção, as posições das regiões de máxima absorção (bandas de absorção) apresentam informações sobre as ligações químicas presentes no material analisado (GONZAGA, 2006).

Como todo material analisado é constituído por inúmeros compostos, com várias ligações capazes de absorver a diferentes comprimentos de onda, forma-se um espectro de absorção com diferentes picos que são característicos da amostra (MURRAY; WILLIAMS, 1987 *apud* PEREIRA, 2000).

De maneira geral, a instrumentação no NIR é similar à espectroscopia de absorção no UV-Visível, embora o desenvolvimento da aplicação seja totalmente diferente. Sabe-se que a radiação infravermelha induz as transições das moléculas e podem ser descritas através de três níveis de energia: eletrônica, vibracional e rotacional (SKOOG *et. al.*, 2005).

Porém, a radiação infravermelha não é energética o suficiente para causar as transições eletrônicas. Contudo, para absorver esta radiação, a molécula precisa sofrer uma variação no momento de dipolo como consequência do movimento vibracional e rotacional (SKOOG *et. al.*, 2005).

Conforme Osborne (2000), a NIRS em frutos compreende bandas largas que resultam da sobreposição das absorções, correspondendo principalmente às transições harmônicas (*overtones*) e combinações dos modos vibracionais (BURNS; CIUREZAK, 2008), envolvendo as ligações químicas C-H, O-H e N-H (SKOOG *et al.*, 2005), conforme descritas na Tabela 4.

Tabela 4. Região espectral e transições eletrônicas no NIR.

Região em comprimento de onda (λ), nm	Grupo funcional	Transições eletrônicas
2500 a 2200	C-H	Combinação de vibrações
2200 a 1800	O-H N-H	Combinação de vibrações
1800 a 1600	C-H	Primeiro sobretom
1600 a 1420	N-H O-H	Primeiro sobretom
1420 a 1300	C-H	Sobretom de combinações
1300 a 1100	C-H	Segundo sobretom
1100 a 800	N-H C-H	Terceiro sobretom

Fonte: Santos (2006); Adaptação.

Métodos Multivariados

Encontram-se nesse contexto as razões pela quais os métodos estatísticos multivariados são essenciais para extrair a maioria das informações úteis do espectro NIR (NICOLAÏ et al., 2007a). Apenas um espectro NIR, com um único comprimento de onda, não é suficiente para construir uma calibração para quantificar determinado fruto ou material. A construção de calibrações na NIRS é feita combinando a intensidade medida a diversos comprimentos de onda, uma vez que a presença de um composto se revela em diferentes partes do mesmo espectro (COSTA et al., 2001).

Considera-se a calibração multivariada como uma das subáreas mais importantes da quimiometria, pois permite estimar com precisão o valor da propriedade desejada em matrizes de amostras complexas, com forte interferência química ou física (COSTA FILHO; POPPI, 2002). Por isso, os métodos quimiométricos são comumente utilizados para o desenvolvimento de aplicações em química de alimentos, devido à complexidade e a variedade das matrizes alimentícias (PEDRO, 2004).

Assim, a principal vantagem da calibração multivariada refere-se à redução e/ou eliminação do tratamento de amostras, ao correlacionar variáveis através de um modelo matemático. Porém, outras vantagens destacam-se: possibilidade de utilização de métodos não destrutivos que podem ser aplicados *on line* em processos industriais, redução da necessidade de seletividade instrumental, pois permite utilizar um número relativamente grande de sinais, considerando várias informações no modelo matemático (MARTENS; NAES, 1993; FERREIRA et al., 1999).

De maneira geral, a calibração multivariada pode ser dividida em duas etapas consecutivas:

1. Modelagem: estabelece uma relação entre o sinal medido e a propriedade que se deseja quantificar da amostra;
2. Validação: assegura que o modelo reflete o comportamento do analito.

O modelo de calibração é construído e validado pela utilização de conjuntos de amostras heterogêneas e independentes, onde apenas um conjunto de amostras é usado para definir o modelo. Outro conjunto de amostras extremas é

utilizado para estimar e avaliar a capacidade do modelo, denominado como validação (ROGGO et al., 2007).

Para cada espécie de fruto e variedade torna-se necessário um novo modelo de calibração, levando em consideração diferentes pomares, sistemas de produção (PEIRS et al., 2002), regiões, safra, entressafra e condições de conservação (REITA et al., 2008) entre outras características que incluam a variabilidade natural da concentração e abranjam os valores extremos (PASQUINI, 2003).

Contudo, a construção do modelo de calibração pode ser feita por vários métodos e a escolha caracteriza-se em função do perfil do conjunto de dados (PARREIRA, 2003).

Dentre os métodos estatísticos mais utilizados utilizados em calibração multivariada, destacam-se a Análise de Componentes Principais (PCA, do inglês *Principal Component Analysis*) e o método dos Mínimos Quadrados Parciais (PLS, do inglês *Partial Least Squares*), (HARRIS, 2005).

O método PLS caracteriza-se pela relação entre as variáveis medidas e como a concentração é modelada. As concentrações são modeladas conforme a Equação 3 (FERREIRA, 1999):

$$\hat{y} = X\hat{b} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

\hat{y} vetor de concentrações (n amostras x 1)

X matriz das variáveis medidas (n amostras por m variáveis)

\hat{b} vetor que contém os coeficientes do modelo (n variáveis x 1)

A equação 3 pode ser usada para modelar a relação entre múltiplos analitos de interesse (diferentes vetores \hat{y}) e a mesma matriz resposta (X) usando diferentes coeficientes \hat{b} do modelo (BEEBE, 1998).

Determina-se o vetor \hat{b} pela resolução da equação $\hat{b} = (X'X)^{-1}X'\hat{y}$ e a chave para a resolução desse vetor está na inversão da matriz $(X'X)$. Caracteriza-se por ser uma matriz quadrada com número de linhas e colunas iguais ao número de variáveis medidas. Assim, um número de amostras no conjunto de calibração maior ou

igual ao número de variáveis é necessário para acontecer essa inversão. Porém, geralmente o que ocorre em sistemas analíticos é um número de variáveis maior que o número de amostras ou ainda um número grande de variáveis altamente correlacionadas, tornando a matriz inversível (singular) (BEEBE, 1998).

A Figura 5 mostra um fluxograma de decisão e contém os principais métodos de calibração multivariada.

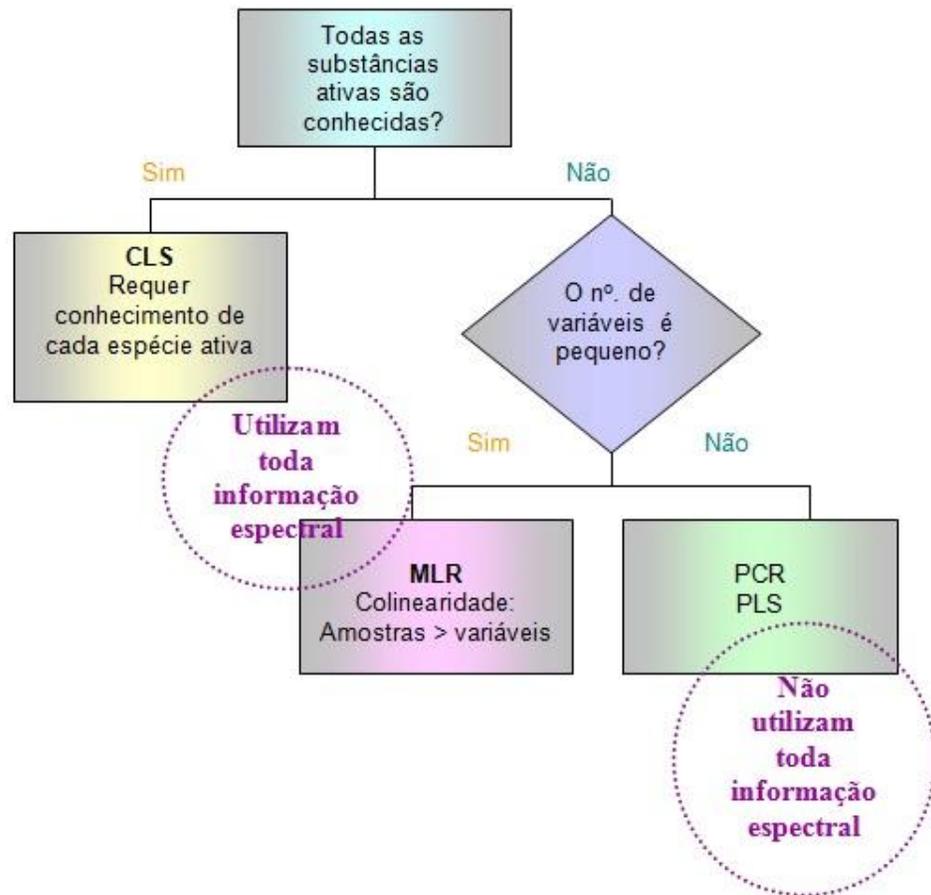


Figura 5. Principais métodos de calibração multivariada. Fonte: Ferreira et al (1999); Adaptação

Apesar do PLS e PCR serem métodos lineares tradicionais, o PLS fornece modelos com menos componentes principais que o PCR (PEDRO, 2004).

Material e Métodos

1. Amostras

No ano de 2010 as bebidas congeladas foram adquiridas de dois fornecedores do Nordeste Paraense nos meses de fevereiro, abril, maio, junho, julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro. As bebidas foram individualmente liofilizadas, acondicionadas e mantidas a -20°C, no Laboratório de Inovação em Pós-colheita (LIPCo) da Embrapa Instrumentação Agropecuária no município de São Carlos – SP.

2. Liofilização

As bebidas foram liofilizadas por 96 horas, utilizando liofilizador EZ-DRY, modelo EZ550R (FTS Systems, Stone Ridge, New York).

3. Reconstituição da bebida

De cada amostra liofilizada, relativas a cada mês, foi pesada uma alíquota de 1 g para a reconstituição da bebida com os seguintes teores de matéria seca em (m/v): 16%, 15%, 14%, 13%, 12%, 11%, 10%, 9%, 8%, 7% e 6%.

Os TST foram obtidos pela adição de água destilada, de acordo com a Equação 4:

$$D = \left(\frac{(A*100) - (C * A)}{C} \right) \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

A massa de açaí liofilizado em gramas

C concentração de TST

Dessa forma, se obteve as respectivas diluições para 1 g de açaí liofilizado (Tabela 5).

Tabela 5. Sólidos totais e diluições para 1 grama de açaí.

TST (%)	Volume de água em mL
16	5,25
15	5,67
14	6,14
13	6,69
12	7,33
11	8,09
10	9,00
9	10,11
8	11,50
7	13,29
6	15,67

Para a reconstituição da bebida, cada amostra permaneceu em um agitador magnético (Fisatom, modelo 752, São Paulo, Brasil), com rotação fixa de 180 rpm, durante 2 minutos.

4. Obtenção dos espectros NIR

Colocou-se 4 mL de cada amostra em um porta amostra de vidro cilíndrico, com diâmetro interno de 12,75 mm para leitura no espectrofotômetro NIR.

Os espectros foram coletados no modo de reflectância difusa com o espectrofotômetro com transformada de Fourier FT- NIR (Figura 6), modelo Spectrum 100N (PerkinElmer, Shelton, Estados Unidos), na faixa espectral de 10000 cm^{-1} e 4000 cm^{-1} , com resolução de 16 cm^{-1} e 64 varreduras.



Figura 6. Espectrofotômetro FT – NIR, modelo Spectrum 100N, PerkinElmer

5. Determinação da matéria seca

Após a obtenção dos espectros NIR, pesou-se o volume restante das amostras antes destas serem secas em estufa de secagem e esterilização (FANEM®, modelo 315 SE, São Paulo, Brasil), a temperatura entre 50° e 60°C por 36 horas.

Pesou-se cada amostra, em temperatura ambiente, e calculou-se o teor de matéria seca (MS). Para isso foi utilizado o método de referência da A.O.A.C. (1998, 925.23), conforme a Equação 5:

$$MS = \left(\frac{E - B}{T - B} \right) * 100 \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

E massa da amostra seca em gramas, após estufa;

B massa do béquer, em gramas;

T massa total amostra, em gramas, antes estufa;

6. Análise Estatística

a) Pré-processamento dos sinais: os espectros foram submetidos a técnica de pré-processamento denominada variação normal padrão (SNV), com o objetivo de corrigir os efeitos relativos aos espalhamentos de luz. Utilizou-se um filtro para suavização dos espectros, *smoothing* SG com 15 pontos na janela, para minimizar o ruído espectral. O pré-processamento foi realizado tiveram com o auxílio do programa Unscrambler® versão 10.0.1 (CAMO, Oslo, Noruega).

Os pré-tratamentos foram avaliados pelos seguintes elementos estatísticos: raízes quadradas dos erros padrões médios para o conjunto de calibração (RMSEC), predição (RMSEP) e coeficiente de determinação (R^2).

b) Técnicas quimiométricas:

Para a construção do modelo de calibração, relacionaram-se dois grupos de dados (*X* e *Y*), onde a matriz *X* de dimensão (*n*, *m*) continha

as respostas instrumentais e o vetor Y, com dimensão n, armazenou o valor de TST de cada amostra (MARTENS; NAES, 1993).

- i. **Regressão de mínimos quadrados parciais (PLS):** por meio de combinações lineares dos dados espectrofotométricos (da matriz X) e dos dados de referência (matriz Y), se obteve o número de variáveis latentes (VL) necessárias para correlacionar os espectros e o TST. Utilizou-se para construção do modelo de calibração um número de VL que proporcionou o menor erro possível de previsão. Na modelagem PLS, tanto a matriz das variáveis independentes (X), como o vetor das variáveis dependentes (Y) foram representados pelos escores e pesos conforme as Equações 7 e 8:

$$\begin{aligned} X &= TP + E && \text{Equação 6} \\ Y &= UQ + F && \text{Equação 7} \end{aligned}$$

Onde:

X matriz de respostas instrumentais

Y vetor de TST

T e U escores de X e Y, respectivamente

P e Q *loadings* de X e Y, respectivamente

E e F resíduos (variáveis latentes eliminadas)

A relação entre as duas matrizes pode ser obtida correlacionando-se os escores de X e de Y, conforme a Equação 8:

$$U = bT + e \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

b coeficiente de regressão

T vetor com as concentrações de TST

e vetor com os erros do modelo.

Quando a matriz X foi decomposta, T representou os escores, P os pesos, E a matriz de erros da decomposição de X (MARTENS; NAES, 1993). A decomposição foi feita utilizando o algoritmo NIPALS, “Non-

Iterative Partial Least Squares”, que corresponde a uma extensão do PLS para análise de dados multivariados, onde os valores de escores foram relacionados com os “loadings” para cada componente.

- ii. **Acurácia modelo:** para determinar o número de VL utilizadas no modelo e avaliar os erros de previsão foi feita uma validação cruzada no conjunto de calibração, ou seja, uma amostra do conjunto de calibração foi separada, o modelo foi construído com os dados restantes e estimou-se o TST. Esse processo foi repetido até que todas as amostras de calibração fossem usadas como validação. Em paralelo, realizou-se a validação com um conjunto de amostras externas. Para verificar o desempenho dos modelos de calibração foram calculados os erros de validação cruzada RMSEC, “*root mean square error of cross-validation*”, e de predição RMSEP, “*root mean square error of prediction*”, conforme a Equação 9 (BEEBE et al, 1998):

$$RMSEP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_p} (\hat{y}_i - y_i)^2}{n_p}} \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

\hat{y}_i valor previsto pelo modelo multivariado

y_i valor referência

n_p número de amostras no conjunto de validação.

Utilizou-se também o coeficiente de determinação (R^2), pois este valor representa a proporção da variância explicada pela variável de resposta no grupo de calibração (R_c^2) e predição (R_v^2) (NICOLAÏ et al., 2007b).

- iii. **Validação externa:** foram utilizadas 42 amostras não utilizadas no conjunto de calibração, de diferentes meses e fabricantes, para avaliar a capacidade preditiva do modelo de calibração.

Resultados e Discussão

A liofilização foi utilizada para obter uma padronização na reconstituição das bebidas de açaí, com os TST desejados. Durante o ciclo de liofilização, na secagem primária, removeram-se os cristais de gelo por sublimação, enquanto na secagem secundária a água foi eliminada por desorção. Sabe-se que ao final da secagem primária, o conteúdo de umidade residual da amostra está em torno de 10 a 15%, e após a secagem secundária este conteúdo chega a níveis abaixo de 3% (TATTINI JUNIOR, 2008). Para aumentar a confiabilidade dos modelos de calibração e validação, utilizou-se o critério de reconstituir as bebidas de açaí, para cada mês, em dois percentuais abaixo e acima, respectivamente 6% e 16%, da faixa de classificação do produto estabelecido pelo MAPA que corresponde ao intervalo entre 8% a 14% de TST. Na Figura 7 encontram-se os espectros de reflectância difusa das bebidas de açaí reconstituídas, utilizadas no modelo de calibração.

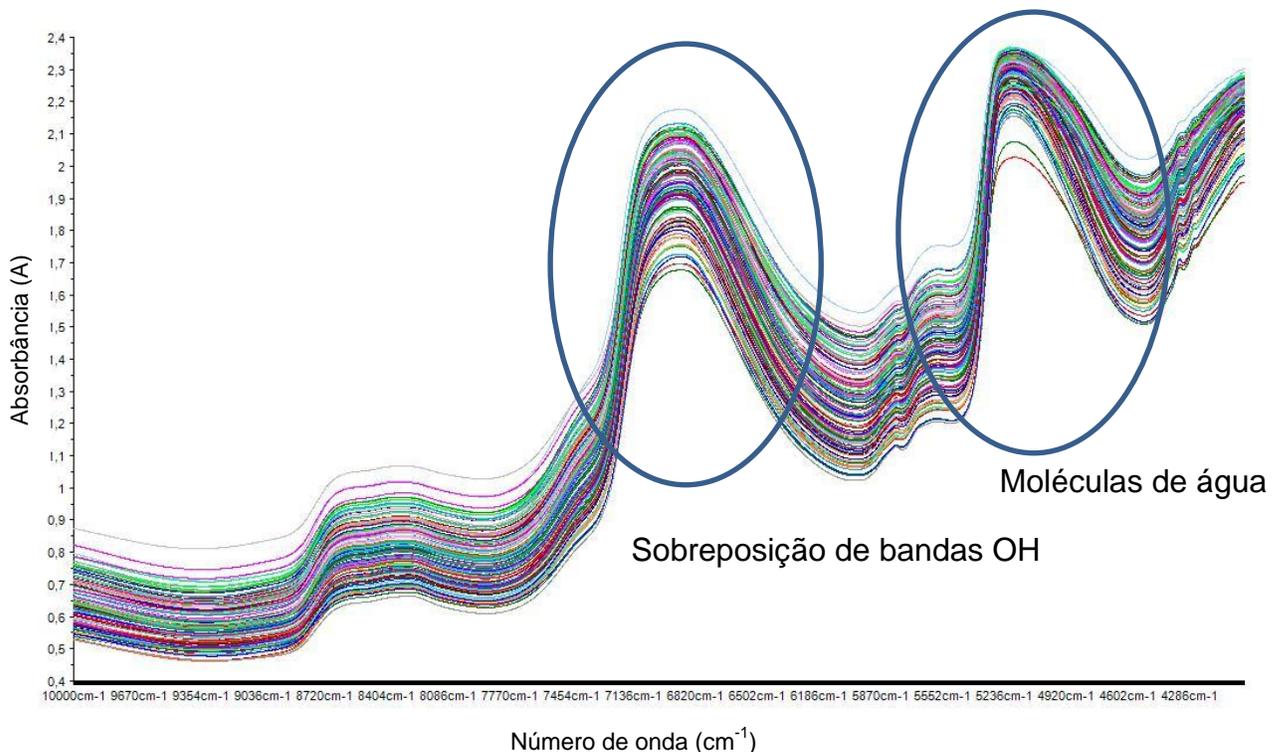


Figura 7. Espectros de reflectância difusa na região do infravermelho próximo (NIR) das bebidas de açaí reconstituídas, na faixa de espectral de 4.000 a 10.000 cm⁻¹.

Observam-se algumas regiões espectrais importantes, o que pode ser atribuído aos grupos funcionais. Os espectros NIR evidenciam-se principalmente pelas regiões onde as moléculas de água estão presentes (4.550 a 5.350 cm^{-1}), bem como as regiões de sobreposição de bandas -OH (6.150 a 7.500 cm^{-1}) e seus sobretons.

Reduziam-se os efeitos de espalhamento da radiação dos espectros foi reduzido através da SNV (Figura 8), pois uma das principais fontes de erro, encontradas em determinações quantitativas com o uso da NIRS, decorre do espalhamento de luz (MELLO, 1998).

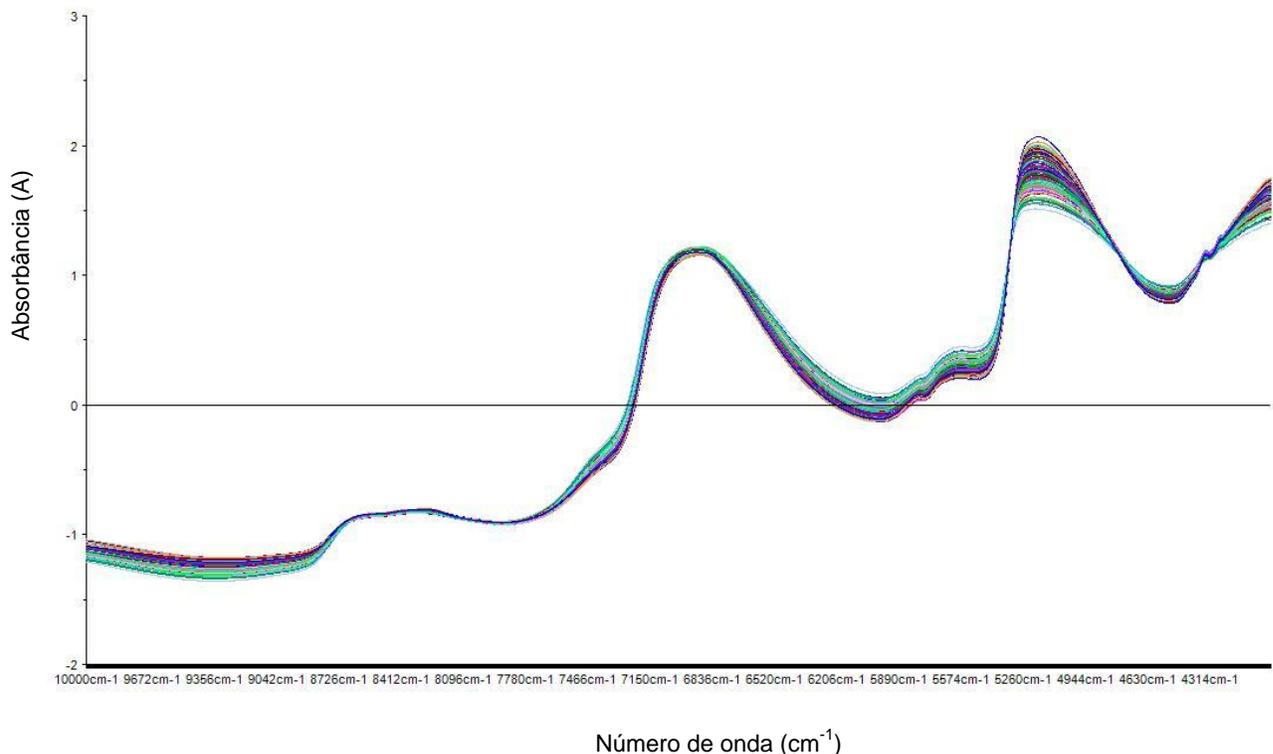


Figura 8. Espectros de reflectância difusa na região do infravermelho próximo (NIR) das bebidas de açaí, após o pré-tratamento com a variação normal padrão (SNV).

Após o pré-processamento dos dados, estes foram submetidos a análise PLS (Figura 9). Nesta figura cada ponto vermelho representa uma amostra da bebida reconstituída que foi analisada, ou seja, um espectro. Ao todo esses pontos vermelhos totalizam 95 amostras ou “*elements*”. Obteve-se o $R^2 = 0,93553$, esse valor é

considerado como altamente satisfatório. Verificam-se as 6 variáveis latentes necessárias para a construção do modelo de calibração.

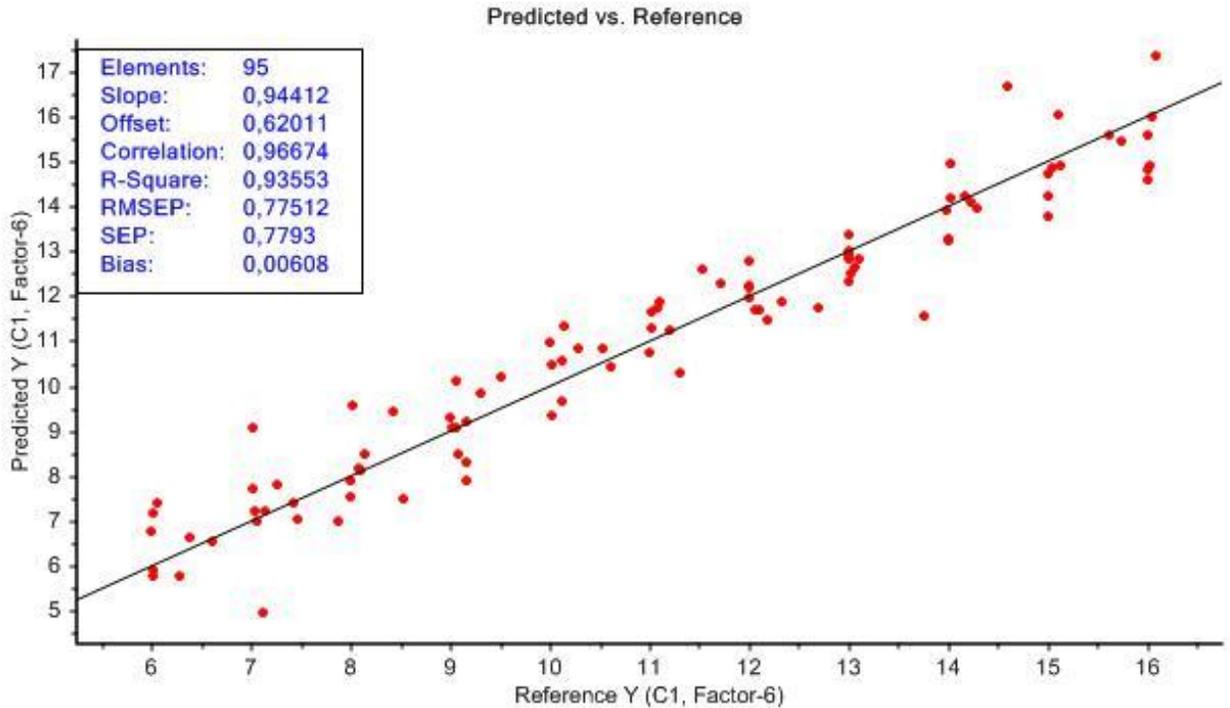


Figura 9. Resultado final do modelo PLS para Validação Cruzada (interna) obtido com as amostras das bebidas reconstituídas.

Através do gráfico de dispersão (Figura 10) é possível visualizar os scores de dois fatores especificados (VL ou PCs), além de permitirem um agrupamento das amostras das bebidas de açaí reconstituídas. A primeira componente principal (PC1) explicou 95% da variabilidade total e pode ser interpretada como uma média entre as variáveis com maior coeficiente na combinação linear, determinando assim a direção de máxima variância. A PC1 também explica 87% do TST. A segunda componente principal (PC2) explica 2% da variabilidade total, ou seja, juntas determinam 97% da variância. A PC2 também explica 3% do TST, ou seja, a combinação das duas componentes principais explicaram 90% do TST.

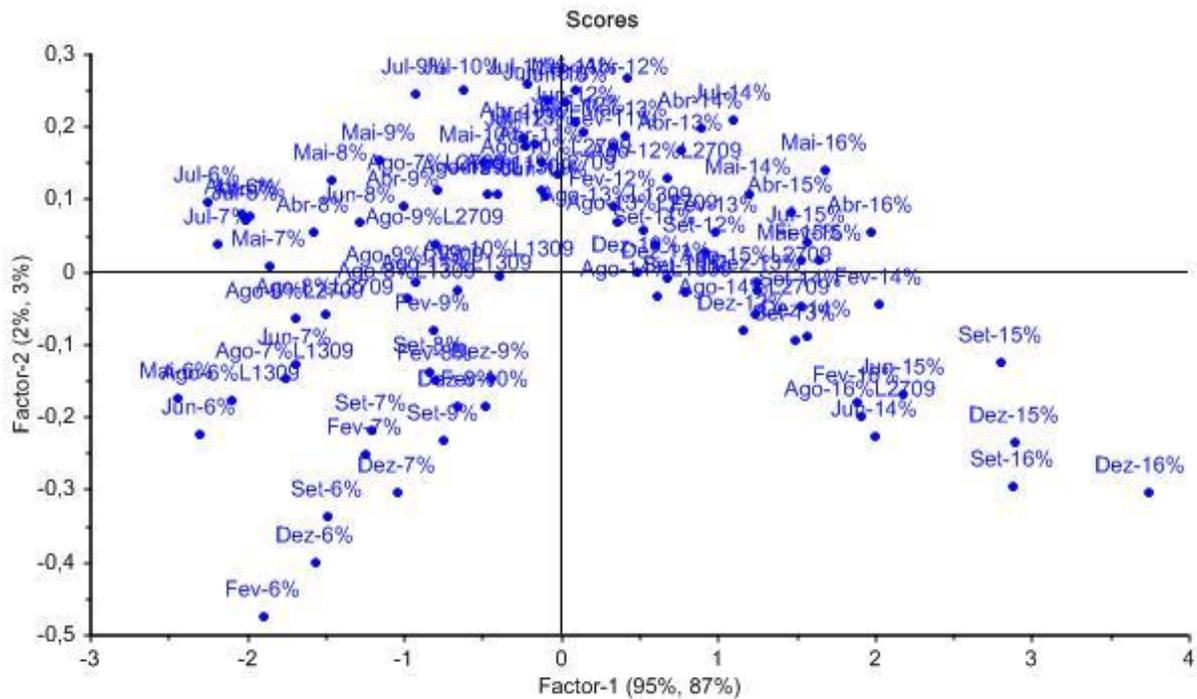


Figura 10. Scores nos dois primeiros componentes principais obtidos para todas as amostras empregadas na confecção do modelo PLS otimizado.

Na Figura 11 pode ser observada a variância de Y (TST) em função das VL ou fatores incluídos no modelo. A linha azul representa a calibração e a linha vermelha representa a validação cruzada (20 segmentos). Observa-se que as variâncias não diferem significativamente, isso significa que o modelo descreve bem os dados (variância de validação).

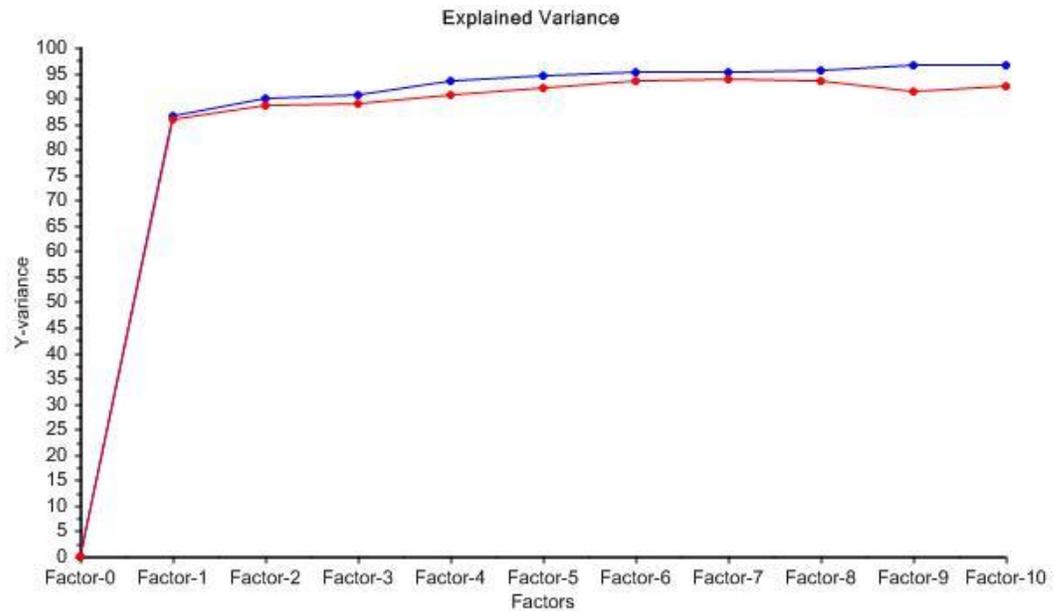


Figura 11. Gráfico de variância explicada de Y (TST) em função das variáveis latentes ou fatores incluídos no modelo.

As 42 amostras para a validação externa do modelo PLS otimizado, não utilizadas no conjunto de calibração, apresentaram o RMSEP de 0.95% e $R^2 = 0.95568$ (Figura 12).

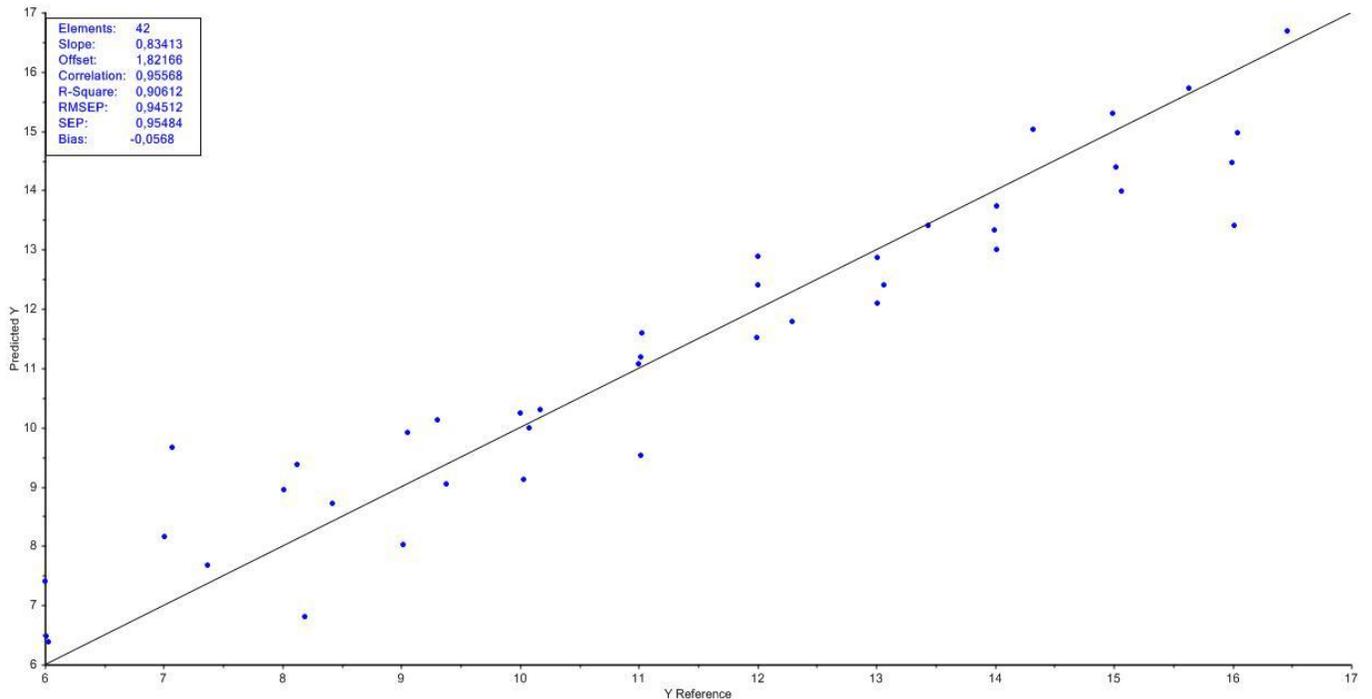


Figura 12. Validação externa do modelo PLS otimizado.

Tabela 6. Valores previstos de TST em bebidas de açaí, para as amostras de validação externa empregando-se o modelo PLS otimizado. Os valores de referência (Y1-Reference) correspondem aos valores do TST medido por secagem em estufa. A coluna (Y1-Predicted) corresponde aos valores do TST preditos pela NIRS.

Amostras	Y1- Predicted	Y1 – Reference
Ago-6%-L1609	6,3814	6,0282
Ago-6%-L2309	7,4058	6,0001
Mai-6%-L0908	6,4839	6,0049
Ago-7%-L1609	9,6581	7,0699
Ago-7%-L2309	8,1582	7,0041
Mai-7%-L0908	7,6729	7,3694
Abr-8%-L2508	6,8109	8,1836
Ago-8%-L1609	8,9552	8,0056
Ago-8%-L2309	9,3846	8,1181
Mai-8%-L0908	8,7126	8,4233
Abr-9%-L2508	8,0249	9,0168
Ago-9%-L1609	9,0415	9,3748
Ago-9%-L2309	9,9171	9,0519
Mai-9%-L0908	10,1364	9,3046
Abr-10%-L2508	9,1302	10,0315
Ago-10%-L1609	10,3100	10,1731
Ago-10%-L2309	10,2393	10,0043
Mai-10%-L0908	9,9916	10,0790
Abr-11%-L2508	9,5303	11,0177
Ago-11%-L1609	11,5933	11,0226
Ago-11%-L2309	11,0720	11,0021
Mai-11%-L0908	11,1891	11,0159
Abr-12%-L2508	11,5277	11,9933
Ago-12%-L1609	12,4035	12,0047
Ago-12%-L2309	12,8862	12,0019
Mai-12%-L0908	11,7852	12,2902
Abr-13%-L2508	12,3993	13,0631
Ago-13%-L1609	12,0968	13,0038
Ago-13%-L2309	12,8847	13,0037
Mai-13%-L0908	13,4074	13,4367
Abr-14%-L2508	13,7346	14,0090
Ago-14%-L1609	13,0075	14,0126
Ago-14%-L2309	13,3273	13,9975
Mai-14%-L0908	15,0309	14,3226
Abr-15%-L2508	14,3978	15,0140
Ago-15%-L1609	13,9801	15,0620
Ago-15%-L2309	15,3014	14,9908
Mai-15%-L0908	15,7337	15,6275
Abr-16%-L2508	14,4791	15,9950
Ago-16%-L1609	14,9752	16,0414
Ago-16%-L2309	13,4199	16,0094
Mai-16%-L0908	16,6936	16,4658

Conclusão

A calibração por mínimos quadrados parciais (PLS) para determinação do TST, empregando os dados espectrais na região NIR, apresentou melhor desempenho quando se utilizou o pré-tratamento de variação normal padrão (SNV). A correção do espalhamento da luz aumentou a precisão do modelo, pois foram removidas as interferências de dispersão, conseguindo ajustar a precisão do modelo.

O modelo global não apresentou qualquer forma de segregação para cada período.

Conclui-se que a NIRS, associada às técnicas de quimiometria, permite a construção de modelos de calibração capazes de quantificarem o TST da bebida de açaí.

Capítulo 3

Espectroscopia NIR na determinação do efeito da água na polpa de açaí liofilizada

Resumo: O controle do teor de água nos alimentos associa-se à manutenção da qualidade, pois exerce importância fundamental para os processos biológicos. A água interage com os componentes sólidos do alimento e essa interação pode influenciar a textura, aparência, sabor, a incidência de alterações e a perecibilidade dos produtos alimentícios. Este trabalho teve como objetivo obter espectros NIR de polpas liofilizadas com diferentes teores de água. Adicionalmente, para cada teor de água, foram coletados três espectros nos tempos zero, um e dois minutos após a deposição da água na superfície da amostra. A polpa liofilizada e a mesma polpa lavada com hexano, foram observadas com o microtomografo SkyScan modelo 1172, com resolução de 4 micrometros. A primeira amostra apresentou porosidade de 34,5% e a segunda de 9,1%, calculadas com o software CTAnalyser v.1.10.9.0. Dos resultados obtidos pode-se constatar que as taxas iniciais de percolação foram praticamente idênticas até 75% (m/m) de água. A partir de 105% (m/m) de água é onde a NIRS detecta o sinal da água. Acima de 145% (m/m) inicia a estabilização de detecção do sinal da água.

Palavras-chave: açaí, *Euterpe oleracea*, sólidos totais, quimiometria, NIR, PLS.

Introdução

As frutas tropicais brasileiras conquistam cada vez mais o mercado consumidor nacional e internacional.

De maneira geral, os frutos contêm diversos compostos secundários de natureza fenólica (polifenóis), nutrientes, micronutrientes como minerais, fibras e vitaminas (HARBONE; WILLIAMS, 2000). Esses fatores motivam o crescimento da diversidade de produtos derivados de frutos, na forma de polpas, bebidas (sucos e refrigerantes), doces, sorvetes e geleias.

Entre os produtos que utilizam frutos tropicais como matérias primas destacam-se as polpas de frutas congeladas, por preservarem as características organolépticas de sua origem e pela praticidade de consumo (SALGADO et al., 1999). Além de ser uma alternativa para o problema da oferta, em determinados períodos do ano, para os frutos com características sazonais.

Segundo Stencl et al. (1999) os produtos de origem agrícolas, durante o processamento e armazenamento, podem sofrer alterações físicas, químicas e microbiológicas. Essas alterações são influenciadas pela umidade, Aa e temperatura de armazenamento. Assim, a Aa pode desencadear reações como o escurecimento e a oxidação dos alimentos (VITALLI, 1987).

Dessa forma, o pH e a atividade de água (Aa) são fatores importantes que determinam o crescimento e a sobrevivência dos microrganismos (deteriorantes ou não) durante o processamento, estocagem e distribuição de alimentos. Porém, a possibilidade de ajustar a Aa dentro das faixas desejadas muitas vezes é limitada pela necessidade de se utilizar altas quantidades de solutos que podem conferir sabores indesejáveis ao produto ou podem afetar negativamente as suas propriedades físicas (TORREZAN et al., 1999). Estes aspectos também realçam a importância de estabelecer critérios mais rígidos quanto ao teor de água em mistura dos frutos comercializados em forma de polpa, sob risco de infringir danos à saúde dos consumidores e a perda de mercados no futuro (NOGUEIRA et al., 2005).

Porém, as pesquisas envolvendo os produtos que se utilizam de frutos como matéria-prima, em especial a bebida de açaí, necessitam ser exploradas. Este

trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da percolação da água sobre a polpa de açaí liofilizada usando a técnica de espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS).

Material e Métodos

1. Amostras

A bebida de açaí foi adquirida de um fornecedor do Nordeste Paraense, durante o mês de fevereiro de 2010. A bebida congelada foi acondicionada e mantida a -20°C , no Laboratório de Inovação em Pós-colheita (LIPCo) da Embrapa Instrumentação Agropecuária, no município de São Carlos – SP.

2. Liofilização

A bebida foi liofilizada por 96 horas, utilizando liofilizador EZ-DRY, modelo EZ550R (FTS Systems, Stone Ridge, New York).

3. Preparação das amostras

Colocou-se 6 g do açaí liofilizado em um porta amostra de vidro cilíndrico, com diâmetro interno de 12,75 mm, deixando o conteúdo preencher o recipiente suavemente por gravidade.

Depositou-se na superfície da amostra um bastão cilíndrico de vidro, com diâmetro de 12,35 mm, massa de 15,640 g e 9 cm de comprimento, durante 10 segundos.

Adicionou-se 5% (m/v) de água destilada e foram coletados três espectros. As três séries experimentais (t_0 , t_1 e t_2), foram cronometradas sucessivamente, um minuto após o primeiro espectro (t_0). O processo foi repetido para adições de 10% (m/v) (Tabela 7).

Tabela 7. Quantidade de água destilada (m/v) adicionada até a reconstituição da bebida de açaí.

%H₂O (m/v)	H₂O em mL	% Matéria seca
5	0,03	99
15	0,09	98
25	0,15	97
35	0,21	96
45	0,27	95
55	0,33	94
65	0,39	93
75	0,45	93
85	0,51	92
95	0,57	91
105	0,63	90
115	0,69	89
125	0,75	88
135	0,81	88
145	0,87	87
185	3,33	64

4. Obtenção dos Espectros NIR

Os espectros no infravermelho próximo foram coletados no modo de reflectância difusa através do espectrofotômetro FT – NIR, modelo Spectrum 100N (PerkinElmer, Shelton, Estados Unidos). Utilizou-se a faixa espectral compreendida entre 10000 cm⁻¹ e 4000 cm⁻¹, com 16 cm⁻¹ de resolução e 64 varreduras.

5. Área do gráfico

Antes de calcular a área do gráfico das três séries experimentais (t₀, t₁, t₂), corrigiu-se a linha de base através do programa PerkinElmer Spectrum Application, versão 10.01.00.0030 (PerkinElmer, Shelton, Estados Unidos).

Para calcular a área do gráfico, utilizou-se a Equação 10 (LEITHOLD, 1994):

$$Area = 2 \sum_i a_i$$

Equação 10

Onde:

 i índice relativo ao comprimento de onda2 comprimento de onda em cm^{-1} a absorvância do comprimento de onda

6. Microtomografia das amostras desengorduradas

A amostra de açaí liofilizado foi imersa em hexano PA, por 10 minutos. Em seguida a amostra foi filtrada em papel de filtro Watman nº 1 e esperou-se 15 minutos para a evaporação do hexano.

Este procedimento foi repetido cinco vezes e a amostra de açaí foi recolhida em uma cubeta cilíndrica de vidro de diâmetro de 12,75 mm.

Deixou-se repousar por 10 segundos sobre a amostra, um bastão cilíndrico de vidro, com diâmetro de 12,35 mm, massa de 15,640 g e 9 cm de comprimento, para homogeneizar a compactação.

7. Microtomografia computadorizada por Raios-X

As imagens 3D foram obtidas usando o microtomógrafo de Raios-X (SkyScan 1172, Aartselaar, Bélgica), Figura 13, com um manipulador de precisão para a amostra e sensor CCD de 10 Mp (4000 x 2300). As distâncias entre a fonte, o objeto e a câmara foram ajustadas de modo a obter imagens com resolução de 5 μm , nível cinza 30 (mediana entre o ar e o pico do açaí liofilizado) e região de análise 2,550 mm. As imagens foram analisadas através do programa CTAnalyser, versão 1.10.9.0.

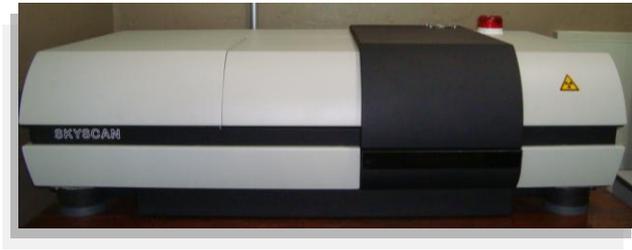


Figura 13. Microtomógrafo de Raios-X (SkyScan 1172)

Resultados e Discussão

Os espectros NIR de reflectância difusa, nos tempos 0, 1 e 2 podem ser observados nas Figuras 14, 15 e 16, com as correções na linha de base.

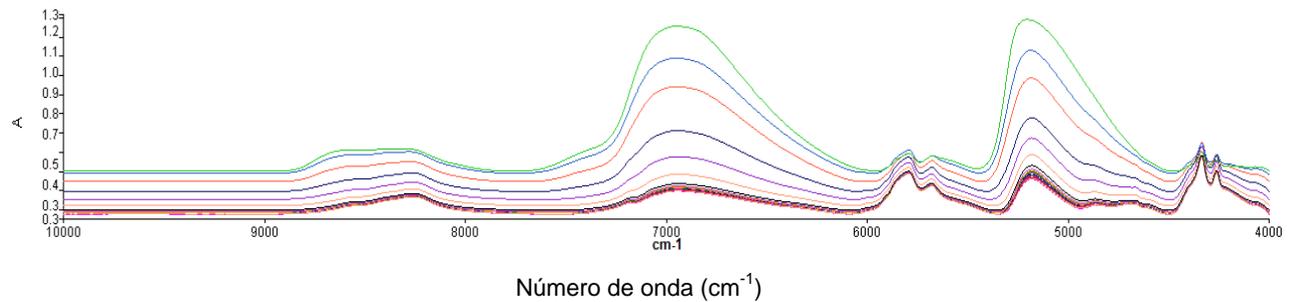


Figura 14. Espectros de reflectância na região NIR das polpas de açaí liofilizadas, no tempo T0.

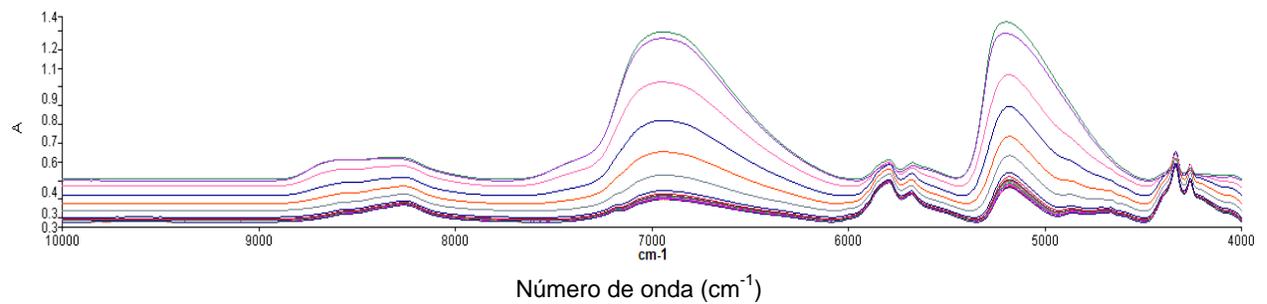


Figura 15. Espectros de reflectância na região NIR das polpas de açaí liofilizadas, no tempo T1.

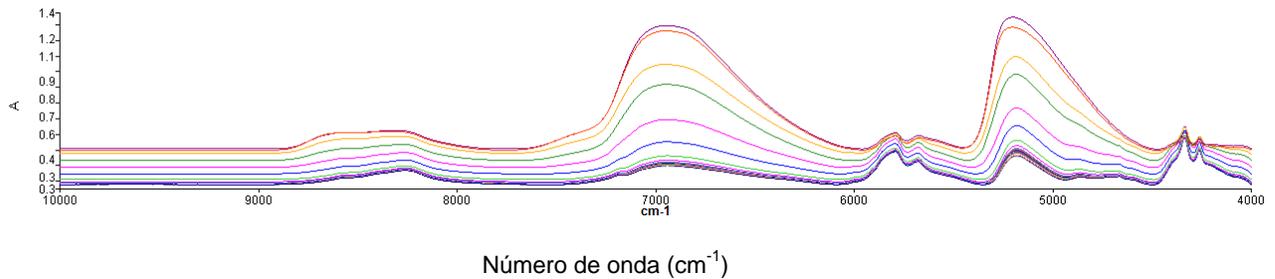


Figura 16. Espectros de reflectância na região NIR das polpas de açaí liofilizadas, no tempo T2.

A Figura 17 ilustra a área dos espectros de reflectância difusa na região NIR das polpas de açaí liofilizadas, nos tempos t0, t1 e t2.

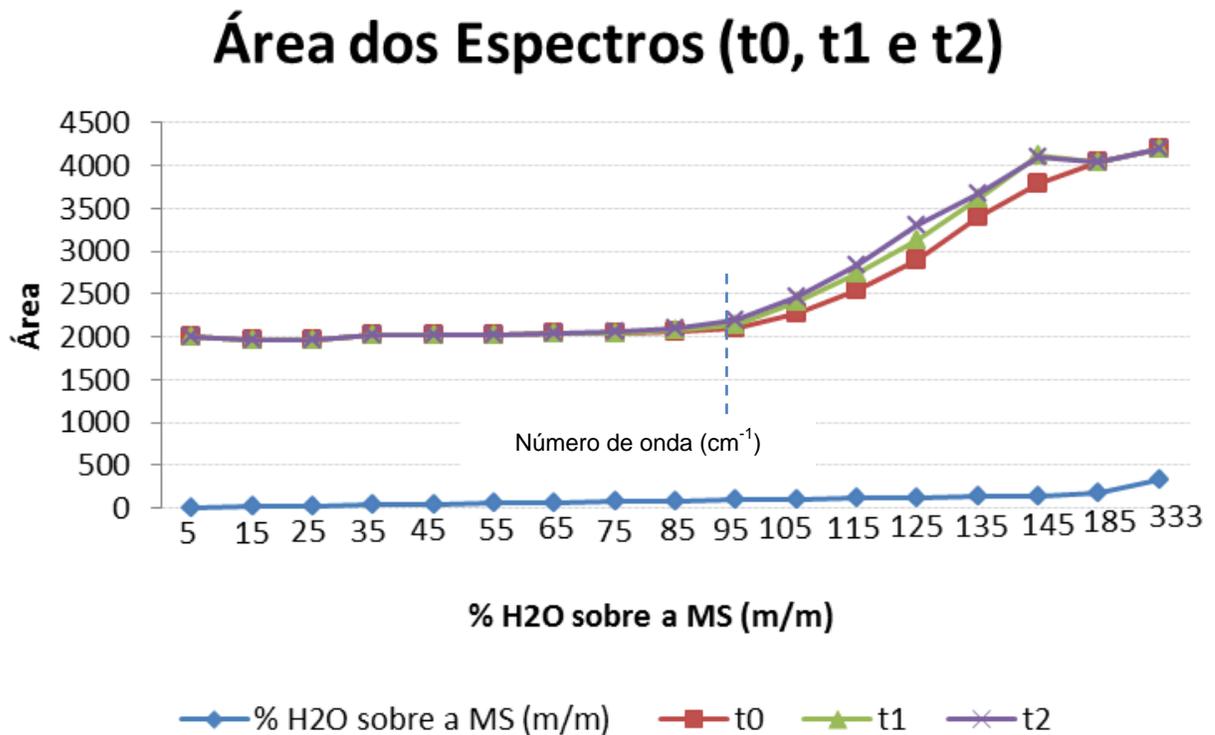


Figura 17. Área dos espectros de reflectância difusa na região NIR das polpas de açaí liofilizadas, nos tempos t0, t1 e t2.

Observa-se que o teor de água e a área do espectro apresentaram um comportamento não linear, com crescimento sigmoide (Figura 17). Sabe-se que a difusão da água se dá de maneira diferenciada, pois depende do tamanho das partículas, da compactação (porosidade) da amostra (MELO et al., 2001).

Dos resultados obtidos, as taxas iniciais de percolação foram praticamente idênticas até 75% (m/v) de água. A partir de 100% (m/v) de água observou-se que este foi o ponto onde a NIRS detectou o sinal da água. O ponto 145% (m/v) corresponde ao ponto onde inicia a estabilização de detecção do sinal da água.

Porém, através da microtomografia 3D foi possível visualizar as imagens da polpa de açaí liofilizada, por seções transversais (cortes internos). Observou-se que a absorção da radiação apresentou formas diferenciadas, conforme a composição química e a densidade das amostras.

Na Tabela 8 encontra-se a análise do volume e a porosidade das amostras da polpa de açaí liofilizada e da mesma polpa lavada com hexano, determinadas pelo programa CTAnalyser.

Tabela 8. Volume e a porosidade das amostras de açaí, referente ao mês de fevereiro de 2010.

Amostra	Volume %	Porosidade %
Polpa de açaí liofilizada	65,5	34,5
Polpa de açaí liofilizada (lavada com hexano)	90,9	9,1

Na Figura 18 encontram-se as microtomografias da polpa de açaí liofilizada, constituída por fibras e óleo e da polpa de açaí liofilizada, sem óleo. Nas imagens binarizadas os pontos pretos são os poros.

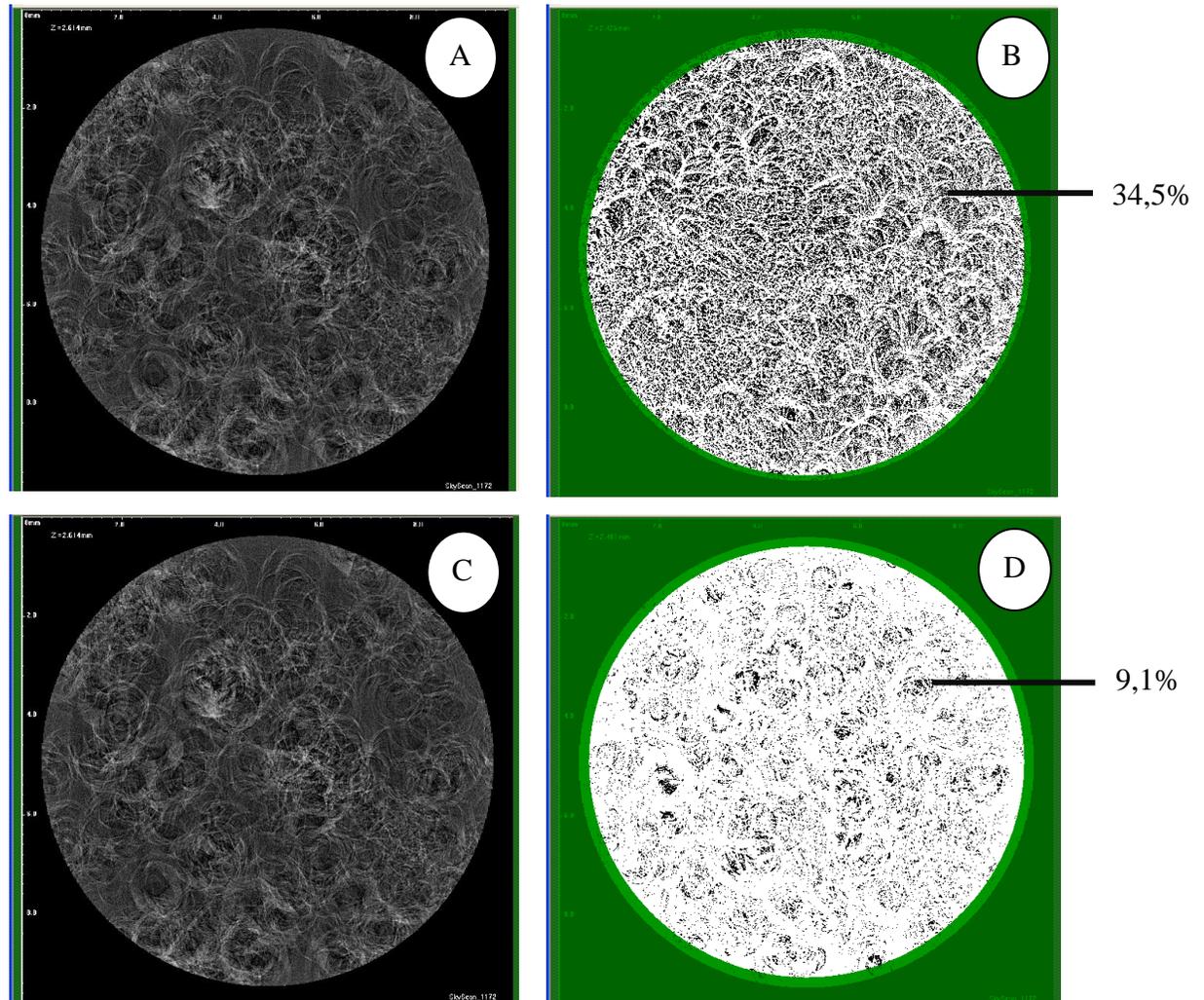


Figura 18. A: Imagem polpa de açaí liofilizada. B: Imagem polpa de açaí liofilizada e binarizada. C: Imagem polpa de açaí liofilizada e lavada com hexano. D: Imagem polpa de açaí liofilizada, lavada com hexano e binarizada. Os pontos pretos representam os poros nas imagens binarizadas.

A polpa de açaí liofilizada apresentou 34,5% de porosidade. A polpa de açaí liofilizada (lavada com hexano) demonstrou 9,1% porosidade. Essa porosidade reduzida relaciona-se à acomodação da amostra, pois após a eliminação do óleo o pó do açaí foi mais compactado.

Conclusão

Embora a água absorva fortemente na região do NIR, a sensibilidade da NIRS para detecção do sinal da água pode variar devido à constituição da amostra e em função da distância em relação à superfície exposta.

Partindo desse princípio, torna-se necessário compreender melhor como a água se comporta na bebida de açaí.

Os experimentos mostraram que nas condições estudadas o limite de detecção de água por NIRS, na polpa de açaí, ficou na proporção de 1:1 (m/v; água/polpa), e que em 1 minuto a frente de molhamento já estava na região de detecção do equipamento.

A menor porosidade apresentada pela polpa lavada com hexano sugere que neste tipo de produto a água percolaria mais rapidamente, facilitada também pela ausência do óleo.

Capítulo 4

Análise preliminar: distribuição anual do teor de antocianinas na bebida de açaí

Resumo: O açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) é uma palmeira tipicamente tropical, nativa da Amazônia. As antocianinas são pigmentos solúveis em água e amplamente distribuídos no reino vegetal, estas têm a capacidade de inibir a ação dos radicais livres e exercer funções antioxidantes, limitando os efeitos cumulativos no organismo, que afetam as moléculas de proteínas, as enzimas, o ácido desoxirribonucleico (DNA) e o ácido ribonucleico (RNA). Sua concentração é influenciada pelo código genético, fatores edafo-climáticos e pela maturação dos frutos. Desta forma, este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da época de colheita no teor de antocianinas totais da polpa de açaí. No ano de 2010 as bebidas foram adquiridas de um fornecedor do Nordeste Paraense nos meses de: fevereiro, abril, maio, junho, julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro. As bebidas foram liofilizadas por 96 horas e utilizou-se o método do pH diferencial para determinação do teor de antocianinas totais (AT), com três repetições, segundo o preconizado pela *Association of Official Analytical Chemists* (A.O.A.C, 2006, 2005-02). Os resultados mostraram que não existem evidências para aceitar que as médias de antocianinas entre a safra e a entressafra sejam iguais ao nível de significância de 5%.

Palavras-chave: açaí, *Euterpe oleracea*, antocianinas, safra, entressafra, antioxidantes, flavonóides.

Introdução

A Floresta Amazônica possui uma das maiores biodiversidades do mundo, sendo a grande responsável por boa parte da riqueza natural do Brasil. Entre as inúmeras espécies vegetais encontra-se o açazeiro (*Euterpe Oleracea* Mart.), uma palmeira tropical nativa da Amazônia brasileira com expressiva importância socioeconômica.

O açazeiro adapta-se às faixas climáticas com regular distribuição de chuvas e umidade no solo. A vegetação se beneficia com índices pluviométricos de 1.300 a 3.000 mm anuais, distribuídos em dois períodos distintos, diferenciados como o mais chuvoso e o menos chuvoso (BASTOS et al., 1986). No Estado do Pará as maiores concentrações dessa palmeira encontram-se em solos de igapós e várzeas, compondo ecossistemas de floresta natural ou em forma de maciços de açazais, com área estimada em 1 milhão de hectares (NOGUEIRA et al., 2005).

Entretanto, populações dessa palmácea também são encontradas nos Estados do Acre, Amapá, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Rondônia e Tocantins. Atravessando as fronteiras brasileiras, é encontrada em países da América do Sul (Venezuela, Colômbia, Equador, Suriname, e Guiana), no Panamá, Trinidad e Tobago, localizados na América Central (NOGUEIRA et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2000).

Adequando-se às condições tipicamente tropicais (SANABRIA; SANGRONIS, 2007), o vigor vegetativo e a capacidade produtiva do açazeiro ocorrem entre o terceiro e o quinto ano após o seu plantio. Sendo que atinge o ápice de sua produção ocorre entre os meses de setembro a dezembro (NASCIMENTO et. al, 2008), onde os frutos apresentam melhor qualidade organoléptica (ROGEZ, 2000).

A safra do açai, no Estado do Pará, ocorre no período de setembro a dezembro e a entressafra entre os meses de janeiro a agosto (VASCONCELOS; ALVES, 2006). A produção de açai é cerca de 20% no primeiro semestre, coincidindo com o período chuvoso na região. No segundo semestre do ano ocorre um acréscimo na produção, cerca de 80%. A oferta abundante na safra faz com que os preços caiam

durante o verão. Já na entressafra, que ocorre no inverno, existe escassez do produto, disparando os preços (CONAB, 2011).

O açaí é considerado um alimento calórico, com elevado percentual de lipídeos, rico em fibras, proteínas, minerais (potássio, cálcio, fósforo, magnésio e ferro), além das vitaminas B1 e E (tocoferol), um antioxidante natural que atua na eliminação dos radicais livres. Com relação às proteínas, possui teor superior ao do leite (3,50%) e do ovo (12,49%) enquanto o perfil em aminoácidos é semelhante ao do ovo (NOGUEIRA et al., 2005). A parte comestível do açaí apresenta valor calórico de 262 kcal/100g (AGUIAR et al., 1980). Porém, a polpa industrializada, dependendo da quantidade de matéria seca adicionada durante o processamento, pode atingir 80 kcal/100g (OLIVEIRA, 2000).

Além do seu valor nutritivo, o açaí possui importantes propriedades funcionais sendo considerado um alimento terapêutico (ROCHA et al., 2007) e medicinal (CÓRDOVA-FRAGA et al., 2004) devido elevado teor de antocianinas.

As antocianinas são pigmentos naturais, solúveis em água, intensamente coloridos e encontrados no reino vegetal. Esses pigmentos apresentam diferentes tonalidades de cor, oscilando entre vermelho, laranja e roxo, de acordo com condições intrínsecas, como o pH, encontradas nos vegetais (BROUILLARD, 1982). Pertencente à família dos flavonóides, são usadas como corantes e antioxidantes naturais, além de ser responsável pela coloração da polpa de açaí (PIMENTEL et al., 2005).

Segundo Constant (2003), as antocianinas são glicosídeos de antocianidinas. As antocianidinas (agliconas) são polidroxí e/ou polimetoxi derivados do Cátion 2-fenilbenzopirílium ou cátion flavílio (Figura 19). O primeiro açúcar encontra-se sempre na posição 3, os outros podem ocupar diferentes posições ou ligar-se ao primeiro (ROGEZ, 2000). Considera-se a antocianina como um pigmento de baixa massa molecular, com uma estrutura base C6-C3-C6 (dois anéis fenil – A e B – ligados através de um anel pirano – C).

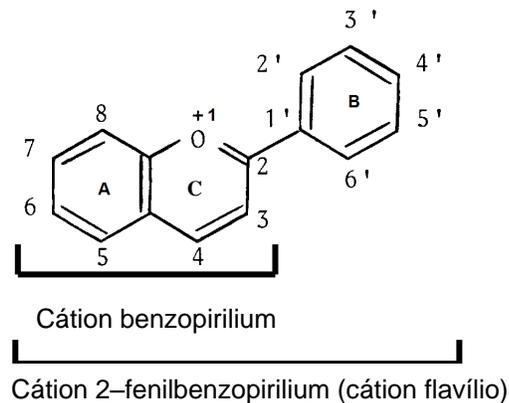


Figura 19. Cátion flavílio. Fonte: Constant, 2003; Adaptação.

Por sua vez, a maioria dos flavonóides tem a capacidade de inibir os radicais livres e exercer funções antioxidantes (PIMENTEL et al., 2005), neutralizando os radicais livres e limitando os efeitos cumulativos no organismo.

Os radicais livres são átomos ou moléculas altamente reativos, que contêm um número ímpar de elétrons na última camada eletrônica. Este não emparelhamento de elétrons, na última camada, confere a alta reatividade a esses átomos ou moléculas (FERREIRA; MATSUBARA, 1997). Esse elétron desemparelhado ocupa sozinho um orbital atômico ou molecular e torna o átomo extremamente instável. Assim, para atingir a estabilidade, reage com um elétron de outro átomo. Em sistemas biológicos, os radicais livres reagem com os elétrons das biomoléculas que estão ao seu redor, como: DNA (ácido desoxirribonucléico), RNA (ácido ribonucléico), proteínas e outras substâncias oxidáveis, desencadeando prejuízos oxidativos que podem contribuir para o envelhecimento e a instalação de doenças degenerativas, como câncer (HAGIWARA et al., 2001), aterosclerose, artrite reumática, entre outras (MELO et al., 2006). Portanto, cada vez que uma biomolécula perde um elétron, sofre uma alteração na sua forma e função (RAMOS et al., 2000).

Por isso, pesquisas associam a ingestão dos flavonóides como hábitos saudáveis de alimentação (FALCÃO et al., 2003). Os antioxidantes asseguram melhor a circulação sanguínea e protegem o organismo contra o acúmulo de placas de gorduras nas artérias (SCHMIDT, 2000) e aumentam a resistência dos capilares sanguíneos (Da SILVA, 2002).

Existem vinte variedades de antocianinas, mas apenas seis delas possuem importância alimentar: a pelargonidina (Pg), a cianidina (Cn), a delphinidina (Df), a peonidina (Pn), a petunidina (Pt) e a malvidina (Mv) (ROGEZ, 2000).

Portanto, as diferenças nos tipos de antocianinas explicam as variações existentes entre frutos e determinadas variedades dentro da mesma espécie frutífera. Explica-se, também, o porquê algumas espécies são mais indicadas para a fabricação de sucos devido à cor mais estável (LAMIKANRA, 1988 *apud* ROGEZ, 2000).

Sabe-se que a concentração das antocianinas é influenciada pelo código genético dos frutos, pela maturação e fatores edafo-climáticos (PIMENTEL, 2005) e podem exercer influências sobre a qualidade do produto final comercializado (FARIAS NETO et al., 2005).

Conforme o método 2005.02 da *Association of Official Analytical Chemists* (A.O.A.C), as antocianinas são capazes de absorver fortemente a luz na região do visível compreendida nas absorvâncias de 520 e 700 nm (A.O.A.C., 2006). Essa especificidade possibilita a quantificação das antocianinas por métodos espectroscópicos, através de medições que envolvem a absorvância em comprimentos de onda adequados (TEIXEIRA, 2008), se mostrando confiáveis quando comparados às análises em Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (RAPISARDA et al., 2000).

Porém, o método do pH diferencial leva em consideração as transformações estruturais das antocianinas em função do pH. Este método consiste em efetuar leitura espectrofotométrica do extrato em solução tampão pH 1,0 e pH 4,5, baseando-se na sensibilidade destes compostos ao pH. Elevando-se o pH para 4,5 estabelece-se uma condição em que as antocianinas praticamente não apresentam coloração, apresentando uma absorção menor de energia. Por outro lado, abaixando-se o pH para em torno de 1,0, os pigmentos exibem coloração intensa. A diferença de absorvância observada por espectroscopia possibilita, por diferença direta, estimar a fração real de AT presente no extrato (TEIXEIRA, 2008).

Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da época de colheita no teor de AT da polpa de açaí, pois a exploração e valorização das antocianinas, principalmente na indústria alimentícia, demonstram a importância dos estudos

analíticos deste flavonóide, considerando a sensibilidade desses compostos a diversos fatores.

Material e Métodos

1. Amostras

No ano de 2010 as bebidas foram adquiridas de um fornecedor do Nordeste Paraense nos meses de fevereiro, abril, maio, junho, julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro. As bebidas congeladas foram individualmente acondicionadas e mantidas a -20°C , no Laboratório de Inovação em Pós-colheita (LIPCo) da Embrapa Instrumentação Agropecuária no município de São Carlos – SP.

2. Liofilização

As bebidas foram liofilizadas por 96 horas, utilizando liofilizador EZ-DRY, modelo EZ550R (FTS Systems, Stone Ridge, New York).

3. Extração das antocianinas

Colocou-se 5mg de açaí liofilizado em num balão volumétrico âmbar de 10 mL e este foi preenchido com solução tampão de Cloreto de Potássio 0,025 Mol/L, pH 1,0.

Novamente, pesou-se 0,005 g da mesma amostra e depositou-se em outro balão de 10 mL, que foi preenchido com solução tampão de Acetato de Sódio 0,4 Mol/L, pH 4,5.

As análises foram realizadas em triplicata e utilizou-se o método do pH diferencial para a determinação do teor de antocianina total (AT) segundo o preconizado pela A.O.A.C. (2006, 2005-02).

Os balões foram agitados manualmente por três segundos. Durante a execução dos experimentos, a temperatura do ambiente foi registrada em torno de 26°C .

Após 2 horas de extração, o extrato foi filtrado em papel de filtro Watman nº 1.

4. Avaliação do teor de antocianinas

Determinou-se a absorbância dos extratos nos comprimentos de onda de 520 nm e 700 nm, para as soluções com pH 1,0 e pH 4,5, respectivamente, utilizando-se o espectrofotômetro (Shimadzu Corporation, UV – 1601 PC, Tóquio, Japão).

O teor de AT foi expresso em equivalentes a cianidina-3-glicosídeo (% m/m) segundo a Equação 11:

$$AT(\%m/m) = A * \frac{MM}{\epsilon * l} * FD * V * \frac{100\%}{P} \quad \text{Equação 11}$$

Onde:

A ($Abs\ 520nm - Abs\ 700nm$) pH 1.0 – ($Abs\ 520nm - Abs\ 700nm$) pH 4.5;

MM (massa molecular) valor 449,2 g.mol⁻¹ para cianidina-3-glicosídeo;

FD fator de diluição (quando necessário);

l caminho óptico em cm (1 cm);

ϵ valor 26.900, que é o coeficiente de extinção molar em L.mol⁻¹. cm⁻¹ para cianidina-3-glicosídeo;

P massa da amostra (mg);

V volume do balão volumétrico utilizado nas análises.

5. Análise Estatística

Todos os dados experimentais foram analisados usando:

- i. **Coeficiente de variação (Cv):** para comparar os dados das distribuições entressafra e safra (Equação 12).

$$Cv = \frac{\sigma}{\mu} \quad \text{Equação 12}$$

Onde:

σ - Desvio padrão

μ - Média, $\mu > 0$

- ii. **Teste F (Fischer-Snedecor):** para testar a hipótese de igualdade das variâncias das duas populações normais independentes (Equação 13).

$$F = \frac{\frac{u}{n_1}}{\frac{v}{n_2}} \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

u - variável aleatória (entressafra), com distribuição de qui-quadrado com n_1 graus de liberdade.

v - variável aleatória (safra), com distribuição de qui-quadrado com n_2 graus de liberdade.

- iii. **Teste T Student:** para testar a diferença entre duas médias populacionais P_1 (entressafra) e P_2 , (safra), com nível de significância $\alpha = 0,05$.

Resultados e Discussão

O teor de AT, expressos como cianidina-3-glicosídeo (% m/v), variou de 0,53 a 0,87. Todavia, os teores médios observados foram de 0,58%(m/v), 0,54%(m/v), 0,81%(m/v), 0,64%(m/v), 0,53%(m/v), 0,60%(m/v) para os meses de fevereiro, abril, maio, junho, julho e agosto, respectivamente (Figura 20). Esses meses correspondem ao período da entressafra. Para o período da safra, observou-se os teores médios de 0,80%(m/v), 0,67%(m/v), 0,87%(m/v), 0,75%(m/v), para os meses de setembro, outubro, novembro e dezembro, respectivamente (Figura 20).

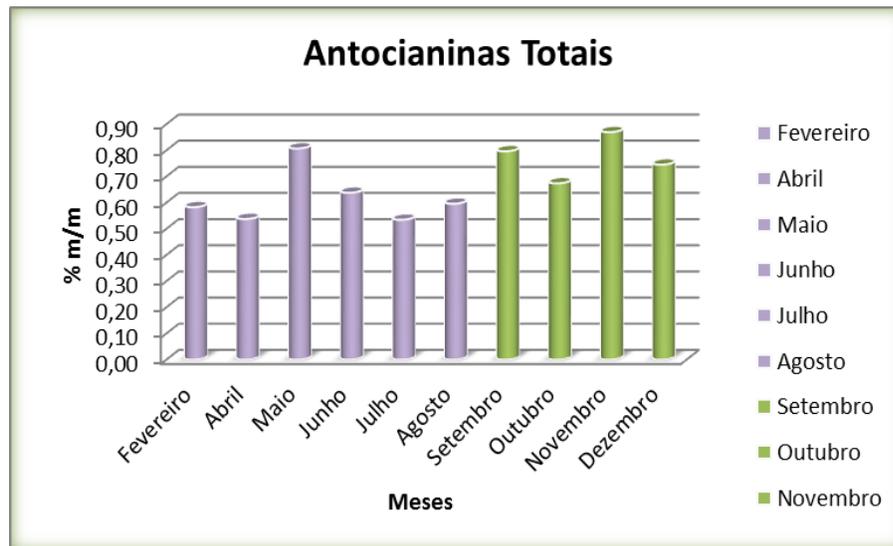


Figura 20. Antocianinas totais, nos períodos da safra e entressafra.

A variação entre os teores de antocianina total (AT) se deve a aspectos relacionados à maturidade dos frutos, as técnicas de colheita e processamento, que podem variar de acordo com a agroindústria, incluindo a proporção de água e fruto e a severidade do processo de despulpamento (PACHECO-PALENCIA et al., 2007). No processo de congelamento da polpa também ocorre uma degradação considerável no teor de AT (NOGUEIRA et al., 2005). A temperatura tem um grande impacto sobre a

destruição das antocianinas durante o transporte, o processamento e o armazenamento dos alimentos (SOUZA, 1998 *apud* AKWIE, 2000).

O coeficiente de variação do período da safra foi de 11% e 16% para a entressafra. Porém, não foi suficiente para detectar se a diferença entre os períodos de safra e entressafra era estatisticamente diferente.

O teste F (Fischer-Snedecor) aceitou a hipótese de homogeneidade variâncias, ao nível de significância de 5% (p-valor=0,784).

Porém, o teste T rejeitou a hipótese de igualdade de médias ao nível de significância de 5% (p-valor = 0,034), indicando diferenças entre as médias na entressafra e safra.

Conclusão

Através das análises estatísticas conclui-se que não existem evidências para aceitar que as médias de antocianinas entre a safra e a entressafra sejam iguais ao nível de significância de 5%.

Capítulo 5

Proposta para integração de recursos e distribuição de resultados de análises

Resumo: Diante da demanda por produtos alimentícios com qualidade comprovada, vem se tornando imperativo o estabelecimento de condutas e ferramentas que garantam a competitividade do setor agroindustrial. O Sistema laça Análises sistematiza uma rede de controle para a produção da polpa de açaí em fluxo contínuo. Para isso, integra dados oriundos da espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS), uma técnica analítica rápida, não destrutiva, com ferramentas computacionais e de redes, para operacionalizar as análises em tempo real. Nesta versão da proposta utiliza-se o modelo desenvolvido anteriormente (Capítulo 2) para TST como parâmetro de referência. Outro aspecto importante refere-se à disponibilização, via web, das análises físico-químicas da bebida de açaí para os clientes, visando agregar valor ao produto/lote. Utilizou-se a metodologia de Orientação a Objetos (OO) e a Linguagem de Modelagem Unificada (UML) para modelagem de dados, facilitando o gerenciamento do projeto. Características como a reusabilidade e a manutenibilidade foram consideradas no projeto, através de modelos de processo especializados, proporcionando um desenvolvimento racional do sistema.

Palavras-chave: engenharia de *software*, orientação a objetos, UML, açaí, NIRS.

Introdução

A Engenharia de Software (ES) surgiu em meados da década de 70, em decorrência da crise do *software*. Desde então, a ES é caracterizada pela especificação, desenvolvimento e manutenção de sistemas aplicando tecnologias que melhoram a organização, a produtividade e a qualidade.

Conforme Pressman (2006), a ES é uma tecnologia em camadas (Figura 21), que abrange um processo, um conjunto de métodos e ferramentas, apoiada no compromisso organizacional com a qualidade.

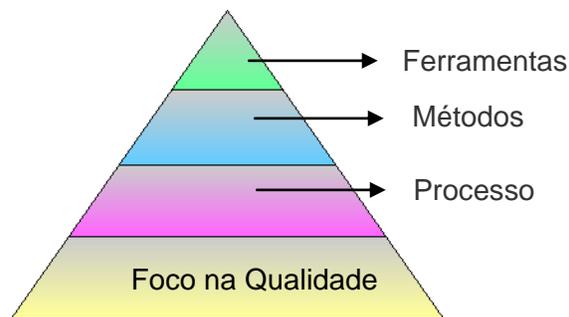


Figura 21. Engenharia de Software em Camadas; PRESSMAN (2006); Adaptação.

Define-se software como toda a documentação, que descreve a estrutura do sistema, associada aos dados de configuração para que esse programa opere corretamente (SOMMERVILLE, 2003). Para existir qualidade em um produto de *software* torna-se necessário um processo de desenvolvimento bem definido, que deve ser documentado e acompanhado (SWEBOK, 2004).

Dessa forma, todas as fases que compõem o processo de ES têm sua importância, pois produzem artefatos intermediários que, conforme vão evoluindo, quer seja por um processo sequencial ou por um processo iterativo e incremental, transformam-se em um produto final denominado sistema.

Por sua vez, um sistema assume um duplo papel, sendo produto e ao mesmo tempo, o veículo de entrega do produto, tornando-se um fator determinante nas economias do mundo industrializado (PRESSMAN, 2006).

Diversas abordagens são utilizadas para delinear os requisitos de um sistema, pois delimitam a abrangência da aplicação, estabelecem funcionalidades solicitadas pelos usuários, impõem restrições de qualidade, fornecem subsídios para o processo de verificação e validação do *software* construído (PRESSMAN, 2006).

Partindo desse princípio, observa-se que os problemas decorrentes da má elaboração dos requisitos (Figura 22) diminuem o reuso, não apenas durante a fase de implementação, mas ao longo do processo de desenvolvimento de um sistema (BOEHM; SULLIVAN, 2000). Define-se reuso como o processo de implementar e atualizar sistemas computacionais utilizando artefatos de *software* já existentes. Os artefatos podem ser: componentes, objetos, modelos de análise de requisito, arquitetura de domínio, esquema de base de dados, código, documentação, manuais, normas, cenários de testes e planos (SODHI; SODHI, 1999).

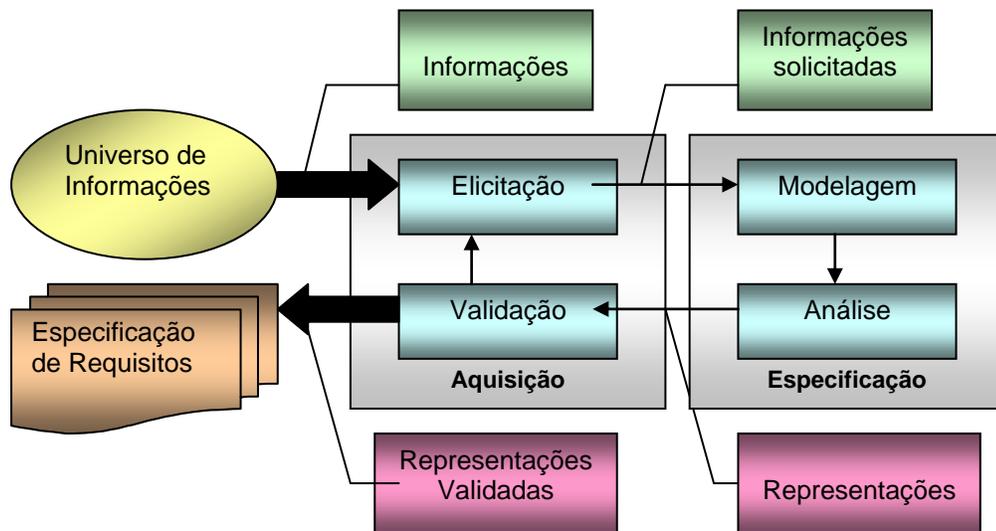


Figura 22. Desenvolvimento de requisitos. Fonte: ROCCO 2002, apud KNIGHT 2004; Adaptação.

Segundo Fortuna (2008), a atividade de elicitação de requisitos é responsável por unir, negociar e compreender as necessidades dos clientes, pois especificam os serviços que o *software* deve prover, incluindo as restrições do sistema e os conhecimentos indispensáveis para desenvolvê-lo (KOTONYA; SOMMERVILLE, 1998). Considera-se a parte mais crítica, passível a erros, dependente de comunicação e colaboração, de todo o processo de *software*. Dessa forma, tornam-se os principais

problemas de desenvolvimento em um sistema quando não refletem as reais necessidades dos usuários, estão incompletos e/ou inconsistentes (SWEBOK, 2004).

Portanto, definir e entender as propriedades e relações em torno de um requisito é essencial na condução do processo de engenharia de requisitos. Entre os meios mais utilizados para essa atividade, encontram-se: entrevista, questionários, *brainstorming* e observação direta. As informações elicitadas constituem a matéria prima para a elaboração de modelos.

Normalmente, os requisitos classificam-se em:

- i. Funcionais: representam o que o sistema deve realizar suas funções, podendo ser subdivididos em essenciais, desejáveis e supérfluos;
- ii. Não funcionais: representam os atributos do sistema enquanto *software* constituído, o que inclui usabilidade, funcionalidade, confiabilidade, eficiência e portabilidade.

Os requisitos elicitados e analisados devem ser documentados através de um Documento de Especificação de Requisitos de Software (DERS). Salienta-se que independente do formato de DERS utilizado, caracteriza-se como um dos artefatos mais importantes do processo de ES, uma vez que é o alicerce de todas as atividades de construção dos modelos subsequentes.

Descrição do Sistema Proposto

O Sistema laça Análises sistematiza uma rede de controle para a produção da bebida de açaí em fluxo contínuo.

Contrapondo os processos convencionais de produção, adotados na industrialização dos frutos, o Sistema integra a NIRS, por ser uma técnica analítica rápida, não destrutiva e confiável, para assegurar a qualidade e operacionalizar as análises dos parâmetros físico-químicos da bebida de açaí em tempo real (Figura 23). Para garantir a eficiência da técnica, no ambiente agroindustrial, alguns cuidados são necessários para evitar as variações de temperatura e a umidade do ar.

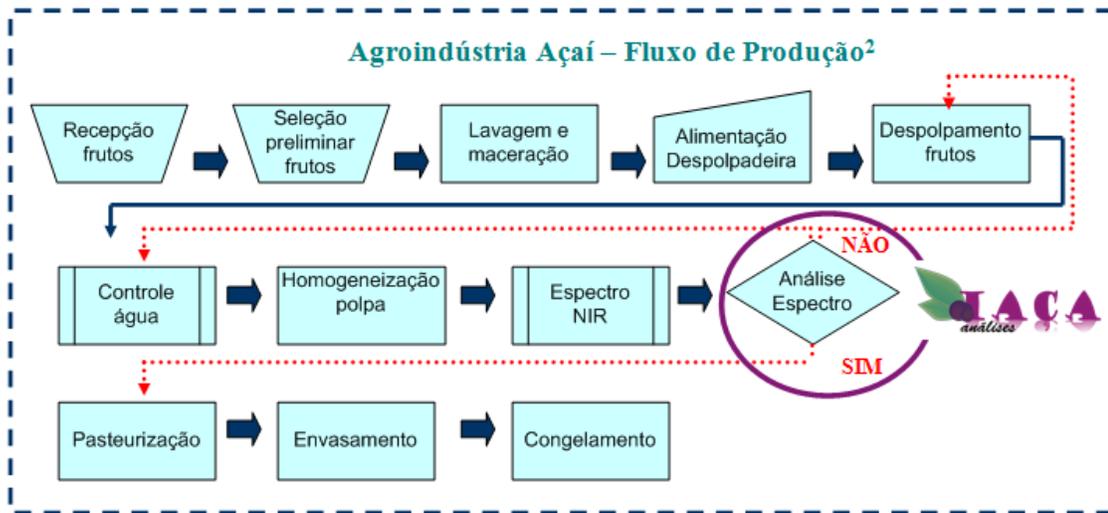


Figura 23. Fluxo de produção²

Aliando-se a ciência e a alta tecnologia, através de métodos científicos apropriados, o Sistema laça Análises é composto por dois subsistemas representados pelos atores: Sistemas laça Convencional e Sistema laça Web (Figura 24), que interagem no processo de reuso dos componentes.

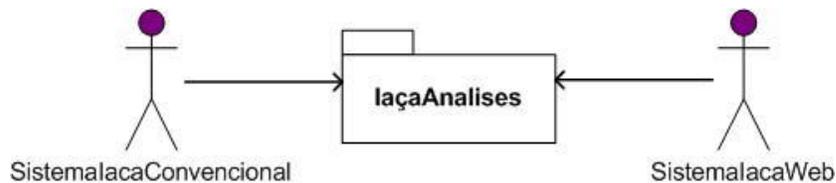


Figura 24. Interação entre Sistemas.

O Sistema laça Convencional, integrado ao Sistema laça Análises, consiste do cadastramento de produtores, rasas e suas respectivas procedências (contendo a propriedade e região de origem), bem como as análises físico-químicas dos lotes que foram previamente analisadas e classificadas pelo modelo de calibração, proposto no Capítulo 2.

Os consumidores, doravante denominados como usuários, terão acesso ao Sistema, através do Sistema laça Análises Web, mediante autenticação com *login* e

senha intransferível. Para isso, torna-se necessário um cadastro prévio que habilitará os módulos para os quais o usuário foi inicialmente autorizado.

Dessa forma, serão disponibilizados diversos tipos de relatórios e consultas *on-line*, contendo as especificações e os resultados das análises físico-químicas do produto/lote adquirido. Entre as características físico-químicas disponíveis, destaca-se o TST, informações/especificidades do processamento e procedência do produto/lote.

Requisitos Funcionais

Após o levantamento e identificação dos requisitos funcionais concluiu-se que o sistema deve permitir:

RF1 – Cadastro de Pessoa

Descrição: O Sistema laça Análises deve permitir o cadastramento de uma nova pessoa.

Entrada: nome, razão social, CPF/CNPJ, tipo (pessoa física ou jurídica), logradouro, número, complemento, cidade (previamente cadastrada), bairro, cep, email e contato.

Processamento: O Sistema laça Análises irá validar o CPF/CNPJ digitado e verificar se o mesmo não pertence a outra pessoa. Caso o CPF/CNPJ seja inválido, o sistema solicitará a correção. Caso o CPF/CNPJ já esteja cadastrado, será emitido um alerta de já existente. Caso o CPF/CNPJ seja válido e não existente, finalizará o cadastro com sucesso. Caso o tipo seja inválido e/ou não existente, será emitido um alerta de correção.

Saída: Mensagem: “CPF/CNPJ já cadastrado. Favor alterar e tentar novamente.” ou “Cadastro de pessoa realizado com sucesso” ou “Campos de preenchimento obrigatório em branco, tentar novamente”.

RF2 – Cadastro de Produtor, previamente cadastrado como Pessoa

Descrição: O Sistema laça Análises deve permitir o cadastramento de um novo produtor. Este cadastro só poderá ser realizado por um administrador do sistema.

Entrada: registro produtor (preenchimento obrigatório).

Processamento: O Sistema laça Análises irá validar o registro produtor digitado e verificar se o mesmo não pertence a outro produtor. Caso o registro produtor seja inválido, o sistema solicitará a correção. Caso o registro produtor já esteja cadastrado, será emitido um alerta de já cadastrado. Caso o registro produtor seja válido e não existente, finalizará o cadastro com sucesso.

Saída: Mensagem: “Registro produtor já cadastrado. Favor alterar e tentar novamente.” ou “Cadastro de produtor realizado com sucesso”.

RF3 – Alteração do Produtor

Descrição: O Sistema laça Análises deve permitir que a agroindústria possa alterar os produtores.

Entrada: CPF/CNPJ. Dados para alteração.

Processamento: O Sistema laça Análises deve verificar se o CPF/CNPJ já existe nos cadastros de produtores da agroindústria. Caso não exista, uma mensagem de alerta será exibida. Caso exista, uma mensagem será exibida concluindo a operação.

Saída: Mensagens: “O Produtor informado não está cadastrado” ou “Produtor alterado com sucesso”.

RF4 – Cadastro da Propriedade

Descrição: O Sistema laça Análises deve permitir o cadastramento de uma nova propriedade.

Entrada: identificação propriedade (automático), nome propriedade, produtor (previamente cadastrado), cidade (previamente cadastrada) e região (previamente cadastrada).

Processamento: O Sistema faça Análises verifica a próxima identificação disponível para validar o cadastro da propriedade. Caso o produtor e/ou cidade e/ou região sejam inválidos e/ou não existentes, será emitido um alerta de correção.

Saída: Mensagem: “Cadastro da propriedade realizado com sucesso” ou “Campos de preenchimento obrigatório em branco, tentar novamente”.

RF5 – Alteração da Propriedade

Descrição: O Sistema faça Análises deve permitir que a agroindústria possa alterar propriedades.

Entrada: código propriedade. Dados para alteração.

Processamento: O Sistema faça Análises deve verificar se o código propriedade já existe nos cadastros de propriedades da agroindústria. Caso não exista, uma mensagem de alerta será exibida. Caso exista, uma mensagem será exibida concluindo a operação.

Saída: Mensagens: “A Propriedade informada não está cadastrada.” ou “Propriedade alterada com sucesso”.

RF6 – Cadastro de Região

Descrição: O Sistema faça Análises deve permitir o cadastramento de uma nova região.

Entrada: identificação região (automático) e região.

Processamento: O Sistema faça Análises verifica a próxima identificação disponível para validar o cadastro da região.

Saída: Mensagem: “Cadastro da região realizado com sucesso” ou “Campos de preenchimento obrigatório em branco, tentar novamente”.

RF7 – Cadastro da Rasa

Descrição: O Sistema faça Análises deve permitir o cadastramento de uma nova rasa. Este cadastro só poderá ser realizado por um administrador do sistema.

Entrada: identificação rasa (automático), lote (previamente cadastrado), proprietário (previamente cadastrado) e data colheita.

Processamento: O Sistema laça Análises verifica a próxima identificação disponível para validar o cadastro da rasa. Caso o lote e/ou proprietário sejam inválidos e/ou não existentes, será emitido um alerta de correção.

Saída: Mensagem: “Cadastro da rasa realizado com sucesso” ou “Campos de preenchimento obrigatório em branco, tentar novamente”.

RF8 – Alteração da Rasa

Descrição: O Sistema laça Análises deve permitir que a agroindústria possa alterar os dados das rasas adquiridas.

Entrada: número da rasa. Dados para alteração.

Processamento: O Sistema laça Análises deve verificar se o número da rasa já existe nos cadastros de rasas da agroindústria. Caso não exista, uma mensagem de alerta será exibida. Caso exista, uma mensagem será exibida concluindo a operação.

Saída: Mensagens: “A rasa informada não está cadastrada, tentar novamente.” ou “Rasa alterada com sucesso”.

RF9 – Cadastro de Lote

Descrição: O Sistema laça Análises deve permitir o cadastramento de um novo lote. Este cadastro só poderá ser realizado por um administrador do sistema.

Entrada: número lote (automático), número da serie, data processamento, temperatura branqueamento, temperatura congelamento, temperatura processamento, temperatura pasteurização, peso bruto, teor de sólidos totais, validade e produto (mix, desidratado em pó ou polpa).

Processamento: O Sistema laça Análises verifica a próxima identificação disponível para validar o cadastro do lote. Caso o produto seja inválido e/ou não existente, será emitido um alerta de correção.

Saída: Mensagem: “Cadastro do lote realizado com sucesso” ou “Campo de preenchimento obrigatório em branco, tentar novamente”.

RF10 – Alteração do Lote

Descrição: O Sistema laça Análises deve permitir que a agroindústria possa alterar os dados dos lotes ofertados. Esta alteração só poderá ser realizada por um administrador do sistema.

Entrada: número do lote. Dados para alteração.

Processamento: O Sistema laça Análises deve verificar se o número do lote já existe nos cadastros de lotes da agroindústria. Caso não exista, uma mensagem de alerta será exibida. Caso exista, uma mensagem será exibida concluindo a operação.

Saída: Mensagens: “O lote informado não está cadastrado.” ou “Lote alterado com sucesso”.

RF11 – Cadastro de Produto

Descrição: O Sistema laça Análises deve permitir o cadastramento de um novo produto (mix, desidratado em pó ou polpa).

Entrada: identificação produto (automático) e produto.

Processamento: O Sistema laça Análises verifica a próxima identificação disponível para validar o cadastro do produto.

Saída: Mensagem: “Cadastro de produto realizado com sucesso” ou “Campo de preenchimento obrigatório em branco, tentar novamente”.

RF12 – Cadastro de Consumidor, previamente cadastrado como Pessoa

Descrição: O Sistema laça Análises deve permitir o cadastramento de um novo consumidor.

Entrada: login e senha.

Processamento: O Sistema laça Análises irá validar o login digitado e verificar se o mesmo não pertence a outro consumidor. Caso o login exista, será exibida a mensagem de alerta solicitando que um novo login seja informado. Caso o login não exista será exibida a mensagem que o cadastro foi realizado com sucesso.

Saída: Mensagem: “Login já existente. Favor alterar e tentar novamente.” ou “Cadastro de consumidor realizado com sucesso”.

RF13 – Alteração de senha consumidor

Descrição: O Sistema laça Análises deve permitir a alteração da senha de um consumidor. Esta alteração poderá ser feita pelo administrador e pelo consumidor.

Entrada: cpf/cnpj e senha. Nova senha.

Processamento: Na alteração da senha será solicitada a confirmação da senha digitada. Se as senhas estiverem diferentes uma mensagem será exibida solicitando a redigitação das mesmas. Depois de informada corretamente, o sistema fará a alteração e exibirá a mensagem concluindo a operação.

Saída: Mensagens: “As senhas informadas estão diferentes. Favor digitá-las e tentar novamente” ou “Senha alterada com sucesso”.

RF14 – Cadastro de Cidade

Descrição: O Sistema laça Análises deve permitir o cadastramento de uma nova cidade.

Entrada: identificação cidade (automático), nome cidade e estado (previamente cadastrado pelo sistema).

Processamento: O Sistema laça Análises verifica a próxima identificação disponível para validar o cadastro da cidade. Caso o estado seja inválido e/ou não existente, será emitido um alerta de correção.

Saída: Mensagem: “Cadastro cidade realizado com sucesso” ou “Campos de preenchimento obrigatório em branco, tentar novamente”.

RF15 – Cadastro de Estado

Descrição: O Sistema laça Análises deve permitir o cadastramento de um novo estado. Este cadastro só poderá ser realizado por um administrador do sistema.

Entrada: identificação estado (automático), nome estado, sigla e país (previamente cadastrado pelo sistema).

Processamento: O Sistema laça Análises verifica a próxima identificação disponível para validar o cadastro do estado. Caso o país seja inválido e/ou não existente, será emitido um alerta de correção.

Saída: Mensagem: “Cadastro de estado realizado com sucesso” ou “Campos de preenchimento obrigatório em branco, tentar novamente”.

RF16 – Cadastro de País

Descrição: O Sistema laça Análises deve permitir o cadastramento de um novo país. Este cadastro só poderá ser realizado por um administrador do sistema.

Entrada: identificação país (automático), nome país e sigla.

Processamento: O Sistema laça Análises verifica a próxima identificação disponível para validar o cadastro do país.

Saída: Mensagem: “Cadastro de país realizado com sucesso”.

RF17 – Relatório do lote.

Descrição: O Sistema laça Análises deve permitir a impressão de relatório do lote. Esse relatório estará disponível também via *web* para o perfil consumidor.

Entrada: login, senha e número do lote.

Processamento: Será realizada consulta no banco de dados emitindo as especificações e o resultado das análises físico-químicas do lote adquirido.

Saída: Impressão de relatório.

RF18 – Relatório dos lotes por período

Descrição: O Sistema laça Análises deve permitir a impressão de relatórios dos lotes. Esse relatório estará disponível apenas para o perfil administrador.

Entrada: Período.

Processamento: Será realizada consulta no banco de dados emitindo a quantidade de lotes processados e as especificações escolhidas, durante o período informado.

Saída: Impressão de relatório.

Requisitos não Funcionais

Os atributos técnicos identificados para o sistema foram agrupados por usabilidade, funcionalidade, confiabilidade, eficiência e portabilidade, conforme preconiza a norma ISO/IEC 9126-1 (ISO/IEC, 2001).

RNF 01 – Usabilidade

O Sistema laça Análises deve possuir uma interface amigável para facilitar a interação com os usuários.

RNF02 - Funcionalidade

As análises e classificações do TST dos espectros NIR, através do Sistema laça Análises, devem acontecer em fluxo contínuo, durante o processo de industrialização dos frutos, para atestar a qualidade do produto ofertado. Os procedimentos de classificação baseiam-se no modelo de calibração (Capítulo 2). Todas as análises atendem às exigências da legislação estabelecida pelo MAPA, conforme instrução normativa que fixa os padrões de identidade e qualidade para a polpa de açaí (página 26).

RNF03 – Confiabilidade

- i. O Sistema laça Análises deve fornecer facilidades para a realização de *backups* e restauração dos arquivos do sistema.
- ii. Deve possuir senhas de acesso e identificação para diferentes tipos de usuários: administrador e consumidores.

RNF04 – Eficiência

- i. Responder às consultas on-line em menos de 10 segundos.
- ii. Iniciar a impressão de relatórios solicitados dentro de no máximo 30 segundos, após sua requisição.
- iii. O sistema não deve ficar inoperante por mais de 30 minutos.
- iv. Cabe aos administradores a responsabilidade pela manutenção do sistema, a preocupação com as falhas e com os provedores de acesso onde o Sistema laça Análises está hospedado.

RNF05 – Portabilidade

- i. O Sistema laça Análises deve ser compatível com os principais Sistemas Operacionais disponíveis no mercado, tais como: Windows XP e/ou superior ou Linux.
- ii. Ser capaz de armazenar os dados em SGBD MySQL.
- iii. A versão web deve estar disponível nos principais navegadores.

Metodologia

O paradigma de desenvolvimento do Sistema laça Análise é a orientação a objetos (OO).

A linguagem de modelagem adotada para a visualização, documentação, especificação e construção do Sistema é a Linguagem de Modelagem Unificada (*Unified Modeling Language, UML*), versão 2.0 (BOOCH et al., 2004; BOOCH et al., 2005; OMG, 2008).

Para o entendimento deste trabalho segue a descrição dos conceitos utilizados na modelagem do Sistema:

- 1. Visão Caso de Uso:** descreve a funcionalidade do sistema, desempenhada pelos atores externos do sistema (OMG, 2008). Considera-se a visão central, pois seu conteúdo é a base de desenvolvimento dos outros modelos.

2. **Lista de Casos de Uso:** encontram-se os casos de uso descritos no Sistema laça Análises, organizados conforme os atores que interagem com o sistema.
3. **Diagrama de Caso de Uso (UCs):** descreve o conjunto de UCs, atores e relacionamentos. Abrange uma visão estática dos UCs (BOOCH et al., 2006) do Sistema laça Análises.
4. **Diagrama de Sequência:** caracteriza-se pela interação e ênfase à ordenação temporal de mensagens (BOOCH et al., 2006) do Sistema. Mostra a interação dos objetos, classes, atores, mensagens e foco de controle. O foco de controle é um componente desse diagrama e permite a representação de comandos de decisão, de loop e de opção. Para isso, parte da premissa que todos os fluxos que se encontram dentro do foco de controle sejam executados enquanto a condição for verdadeira. Permite a análise e definição da troca de mensagens entre os objetos e atores, pois descrevem um comportamento que acontecerá em um ponto específico da execução do sistema. As mensagens enviadas, por cada objeto, são simbolizadas graficamente por setas e classificam-se em:
 - i. Síncronas: aguardam o retorno do fim do seu processamento para continuar a execução;
 - ii. Assíncronas: o remetente continua executando, sem aguardar resposta;
 - iii. Create: representam as chamadas dos métodos construtores;
 - iv. Destroy: representam as chamadas dos métodos destrutores.
5. **Diagrama de Classes:** abrange a visão estática do Sistema, o conjunto de classes, interfaces, colaborações e seus relacionamentos. A classe é uma descrição de um conjunto de objetos que contém os mesmos métodos, atributos, relacionamento e semântica (BOOCH et al., 2006).
6. **Visão “Deployment”:** descreve a plataforma utilizada para a implantação do Sistema, incluindo o software, o hardware, a configuração de rede e o banco de dados.
7. **Visão de Dados:** a modelagem do banco de dados (BD) foi desenvolvida com o objetivo de minimizar possíveis anomalias, referentes

à redundância e inconsistência dos dados. Conforme Elmasri e Navathe (2011), o projeto conceitual é uma descrição concisa dos requisitos de dados e inclui descrições detalhadas dos tipos de entidades, relacionamentos e restrições.

- 8. Visão de Componentes:** descreve o diagrama físico que inclui os componentes do Sistema laça Análises e suas dependências. Similar a um pacote, mas com um enfoque no empacotamento físico do código.

Resultados e Discussão

Visão Caso de Uso – Nível Análise

A descrição Sistema laça Análises é feita por meio de vários Casos de Uso (*use cases* - UCs) que são executados pelos atores: Administrador e Consumidor (Tabela 9), representando dois níveis de acesso. Estes atores são entidades externas ao sistema que interagem com o mesmo (PENDER, 2003), retratam uma regra e não um usuário individual do sistema. Cada ator se comunica com o sistema enviando e recebendo mensagens, embora essas mensagens não sejam formalmente especificadas em um caso de uso. Sendo assim, um mesmo ator pode estar em um ou mais casos de uso.

Tabela 9. Definição dos Atores do Sistema laça Análises.

Ator	Descrição
 AtorAdministrador	<p>O Ator Administrador representa o funcionário da agroindústria, sendo responsável pela inclusão e manutenção dos dados no sistema.</p>
 AtorConsumidor	<p>O Ator Consumidor representa os usuários regularmente cadastrados no Sistema laça Análises.</p>

Lista de Casos de Uso

As listas nas Tabelas 10 e 11 relatam as funções que cada ator desempenha, com a respectiva descrição dos UCs e suas entradas obrigatórias.

Tabela 10. Lista de Casos de Usos do Ator Administrador

Caso de Uso	Descrição	Entrada
IncPessoa	Cadastra nova pessoa.	CPF/CNPJ e dados obrigatórios.
IncProdutor	Cadastra novo produtor.	Registro produtor e dados obrigatórios.
AltProdutor	Altera produtor.	CPF/CNPJ e dados.
IncPropr	Cadastra nova propriedade.	Dados obrigatórios.
AltPropr	Altera propriedade.	Propriedade e dados.
IncRasa	Cadastra nova rasa.	Dados obrigatórios.
AltRasa	Altera rasa.	Rasa e dados.
IncLote	Cadastra novo lote.	Dados obrigatórios.
AltLote	Altera Lote.	Lote e dados.
IncProd	Cadastra novo produto.	Dados obrigatórios.
IncReg	Cadastra nova região.	Dados obrigatórios.
IncCid	Cadastra nova cidade.	Dados obrigatórios.
IncEst	Cadastra novo estado.	Dados obrigatórios.
IncPais	Cadastra novo país.	Dados obrigatórios.
RelatPer	Solicita relatório lotes por período.	Período.
RelatLote	Solicita relatório lote.	Número do lote.
AnaliseST	Solicita análise de sólidos totais.	Espectro NIR.
SVLogin	Solicita validação do login.	Login, senha.

Tabela 11. Lista de Casos de Uso do AtorConsumidor

Caso de Uso	Descrição	Entrada
IncCons	Cadastra novo consumidor.	Dados obrigatórios.
AltCons	Altera os dados do consumidor.	CPF/CNPJ, dados.
SVLogin	Solicita validação do login.	Login, senha.
SConsLote	Solicita consulta lote adquirido.	Login, senha, número lote.

Diagrama de Caso de Uso

O estereótipo *include* determina um relacionamento de dependência obrigatório que, como o próprio nome sugere, de inclusão. Indica que o caso de uso, de onde parte o relacionamento, sempre inclui/executa o comportamento de outro caso de uso. No Sistema laça Análises o ator Consumidor obrigatoriamente precisa validar a senha e o *login* para consultar o lote adquirido.

Por sua vez, o estereótipo *extended* determina um relacionamento de dependência facultativo, pode assumir o comportamento da classe apontada estendido pela classe que aponta. No Sistema laça Análises foi detectada nenhuma dependência facultativa entre os UCs.

A Figura 25 mostra o diagrama de casos de uso identificados para o Sistema laça Análises. As listas de casos de uso descritas nas Tabelas 10 e 11 trazem uma descrição completa da legenda utilizada nos UCs.

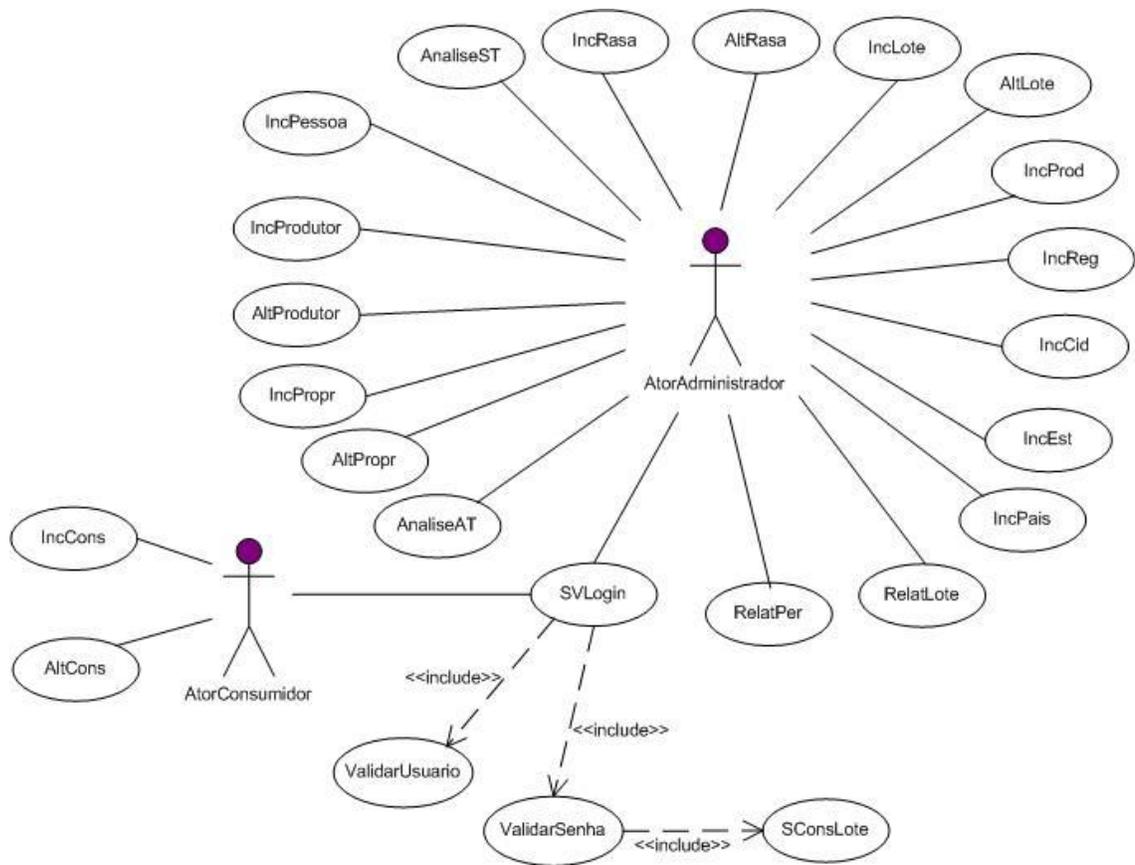


Figura 25. Diagrama de casos de uso do Sistema laça Análises

Diagrama de Sequência

Os modelos de sequência possuem dois eixos: o vertical que mostra o tempo, e o eixo horizontal, que mostra os objetos envolvidos na sequência de uma determinada atividade.

Foram selecionados alguns dos modelos baseados nas características dos casos de uso. Os modelos apresentados neste tópico representam algumas das funcionalidades relevantes no sistema, como:

- i. Consultar lote.
- ii. Processar espectroNIR.

A Figura 26 representa o diagrama de sequência do caso de uso Consultar lote (SConsLote), solicitado pelo Ator Consumidor via Web.

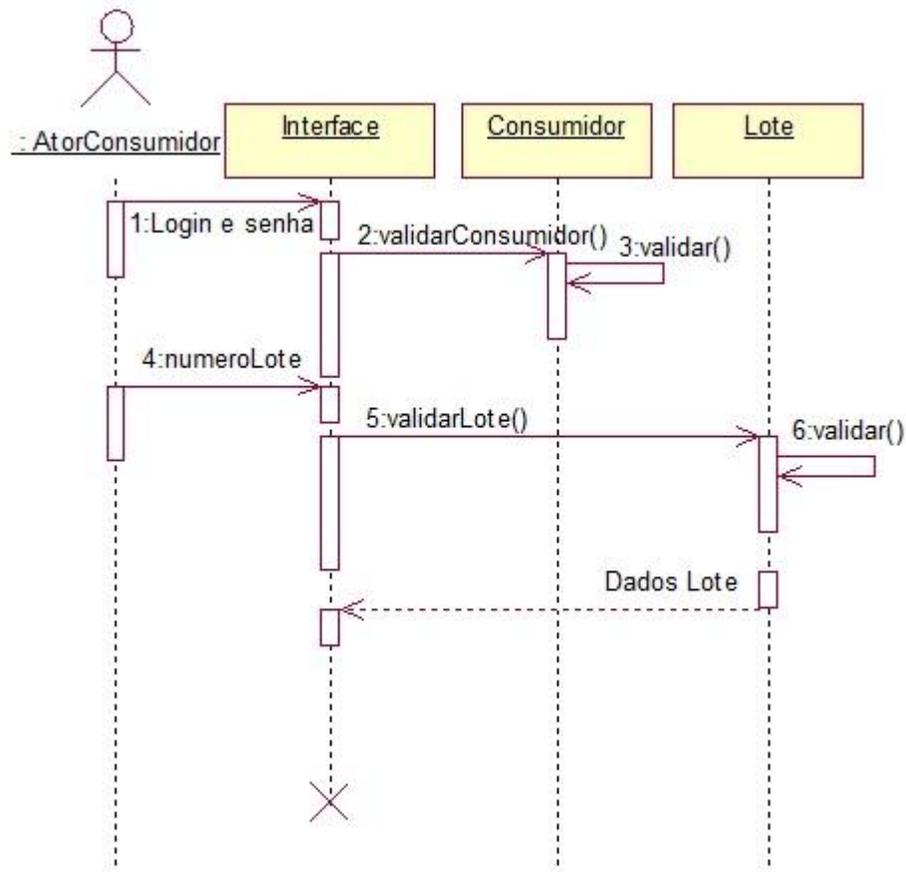


Figura 26. Diagrama de seqüência Consultar Lote (SConsLote) – Curso Normal

Curso Normal

1. Ator Consumidor informa *login* (usuário) e a senha para acesso.
2. A Interface chama o método para validar consumidor da Classe Consumidor.
3. O método *validar()* da Classe Consumidor verifica se o *login* informado existe e se a senha está correta.
4. Ator Consumidor entra com o número do lote.
5. A Interface chama o método para validar lote da Classe Lote.
6. O método *validarLote()* da Classe Lote verifica se o lote informado existe
7. Enviar a mensagem "Dados Lote".
8. Encerrar caso de uso.

Curso Alternativo

1. Ator Consumidor informa *login* (usuário) e a senha para acesso.

- 1.1 A Interface chama o método para validar consumidor da Classe Consumidor.
 - 1.1.1 O método validar() da Classe Consumidor verifica se o usuário informado existe e se a senha está correta.
 - 1.1.2 Enviar a mensagem "Login Inválido, tente novamente".
 - 1.1.3 Encerrar o caso de uso.
2. Ator Consumidor entra com o número do lote.
 - 2.1 A Interface chama o método para validar lote da Classe Lote.
 - 2.1.1 O método validar() da Classe Lote verifica se o lote informado existe.
 - 2.1.2 Enviar a mensagem "Lote Inválido, tente novamente".
 - 2.1.3 Encerrar o caso de uso.

A Figura 27 representa o diagrama de sequencia do caso de uso Consultar lote (SConsLote), curso alternativo, solicitado pelo Ator Consumidor via Web.

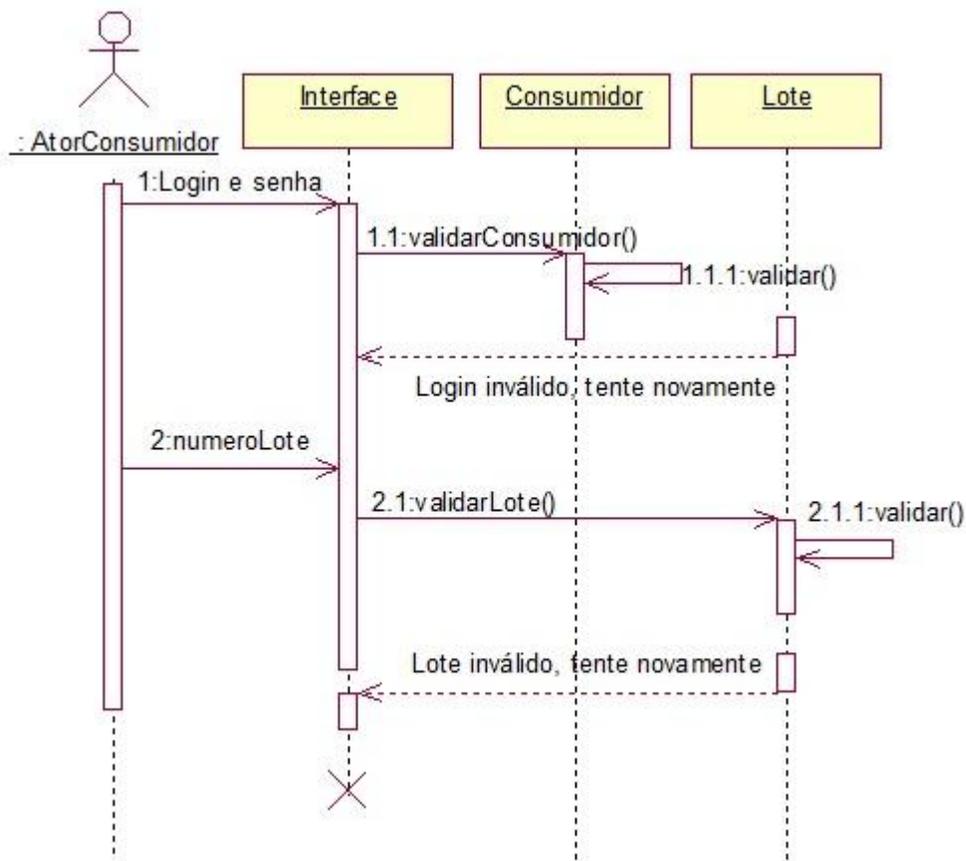


Figura 27. Diagrama de sequência Consultar Lote (SConsLote) – Curso Alternativo

A Figura 28 representa o diagrama de sequência do caso de uso Processar Lote (AnáliseST), solicitado pelo Ator Administrador.

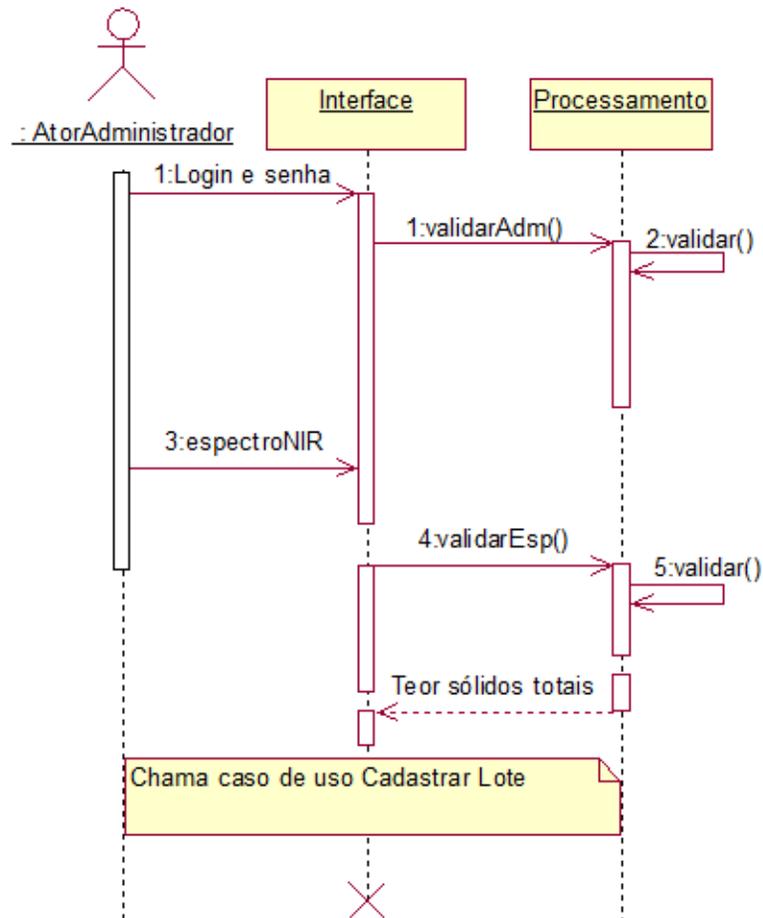


Figura 28. Diagrama de sequência Processar espectroNIR (Análise ST) – Curso Normal

Curso Normal

1. Ator Administrador informa *login* (usuário) e a senha para acesso.
2. A Interface chama o método para validar administrador da Classe Processamento.
3. O método `validarAdm()` verifica se o *login* informado existe e se a senha está correta.
4. Ator Administrador entra com o espectro NIR.
5. A Interface chama o método para validar espectro.
6. O método `validarEsp()` verifica se o espectro informado está no formato compatível ao sistema.
7. Enviar a mensagem "Ter de Sólidos Totais".
8. O caso de uso Cadastrar Lote é chamado para inserir o teor de sólidos totais.
9. Encerrar o caso de uso.

Curso Alternativo

1. Ator Administrador informa *login* (usuário) e a senha para acesso.
 - 1.1 A Interface chama o método para validar administrador da Classe Processamento.
 - 1.1.1 O método validarAdm() verifica se o administrador informado existe e se a senha está correta.
 - 1.1.2 Enviar a mensagem "Login Inválido, tente novamente".
 - 1.1.3. Encerrar o caso de uso.
2. Ator Administrador entra com o espectro NIR.
 - 2.1 A Interface chama o método para validar espectro da Classe Processamento.
 - 2.1.1 O método validarEsp() verifica se o espectro informado está no formato compatível ao sistema.
 - 2.1.1 Enviar a mensagem "Formato do espectro incompatível".
 - 2.1.2 Encerrar o caso de uso.

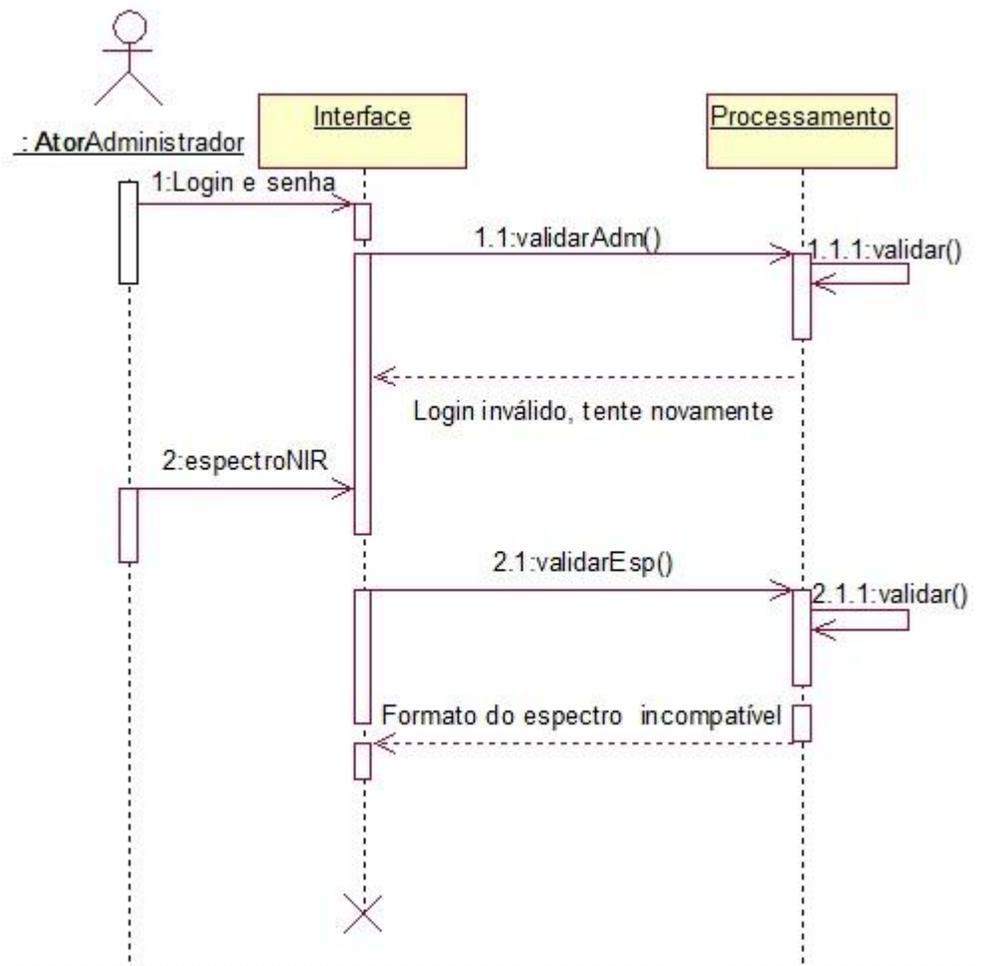


Figura 29. Diagrama de sequência Processar espectroNIR (Análise ST) – Curso Alternativo

Diagrama de Classes (Visão Lógica – Nível Análise)

Conforme mostra o diagrama de classes (Figura 30) uma Pessoa pode ser um Produtor ou Consumidor e obrigatoriamente possui um tipo (jurídica ou física). Identifica-se nessa relação uma generalização/especialização que torna possível a reutilização de funcionalidades previamente definidas na superclasse Pessoa. Adicionalmente, nessa hierarquia de classes, existem funcionalidades específicas que caracterizam as subclasses Produtor e Consumidor.

As principais características das classes Produtor ou Consumidor são:

1. **Consumidor:** através de um processo de autenticação pode acessar, via web, a(s) análise(s) do(s) lote(s) adquirido(s). Esse consumidor pode ser local, nacional ou internacional, justificando a necessidade aos dados: cidade, estado e país.
2. **Produtor:** responsável por fornecer os frutos para a agroindústria. Um produtor pode ter uma ou mais propriedades, localizadas em cidades e regiões distintas.

As rasas são originárias de uma propriedade e constituem-se a matéria prima utilizada no processamento dos lotes. Os lotes classificam-se em um único produto (mix, bebida ou polpa) e armazenam as análises de TST, consideradas atributos da qualidade no mercado consumidor.

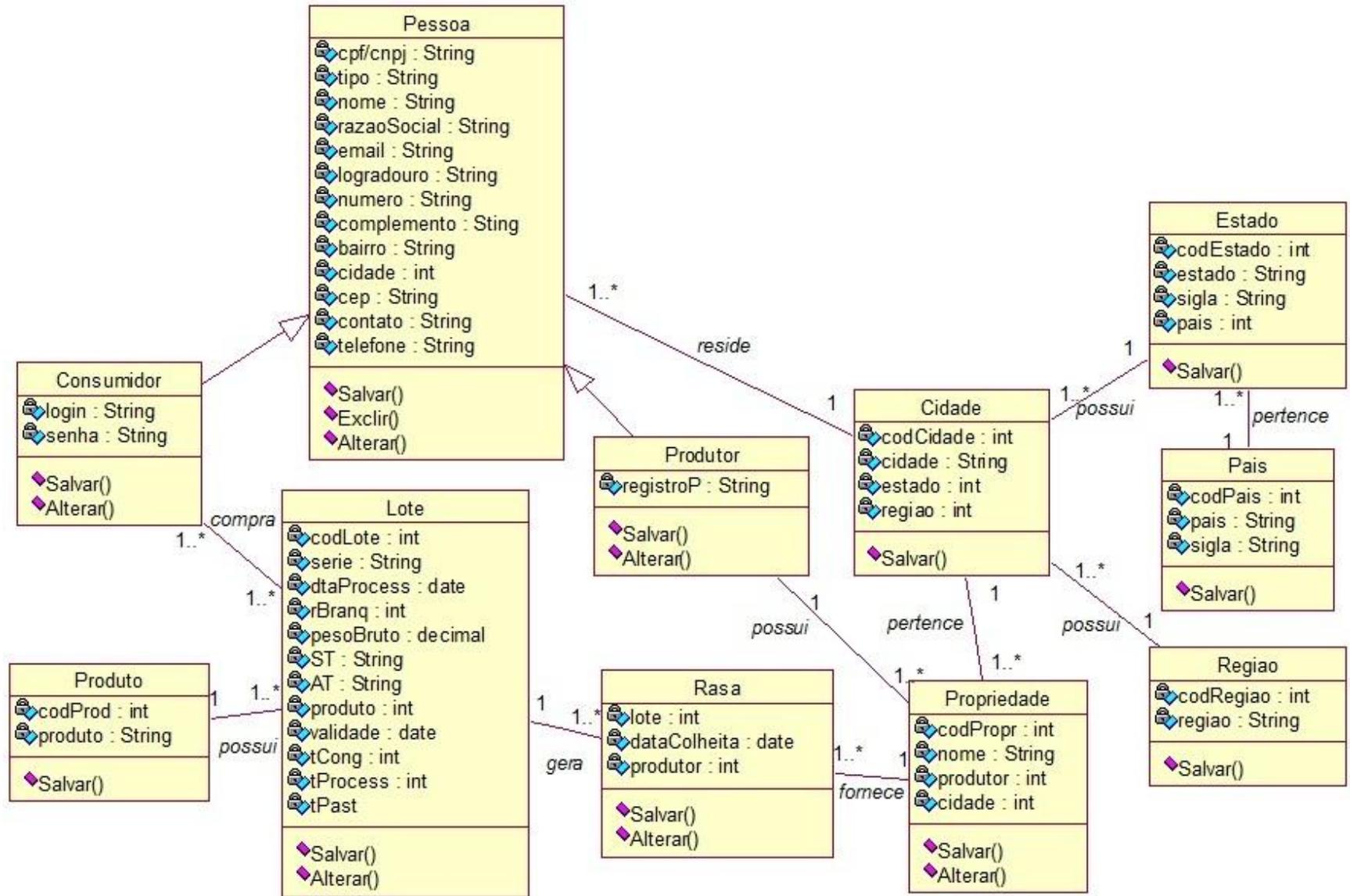


Figura 30. Diagrama de classes do Sistema laça Análises

Modelo da Arquitetura para o Sistema Proposto

O modelo de arquitetura adotado no Sistema Iça Análises (Figura 31) segue o padrão Model-View-Control (MVC), apoiado pelo *framework* JSF responsável pelo desenvolvimento de páginas Web. Esse padrão de arquitetura visa separar a lógica de negócio da lógica de apresentação, permitindo o desenvolvimento, teste e manutenção isolados de ambos. Para melhor compreensão adotou-se a apresentação dos modelos de projeto, classificando-os em:

- i. Modelo (*Model*): classes de modelagem da aplicação, funcionalidades da aplicação.
- ii. Visão (*View*): elementos de interação com o usuário, interface gráfica.
- iii. Controlador (*Controller*): nível responsável pelas execuções dos comandos. Encontra-se a validação e a filtragem da entrada de dados.

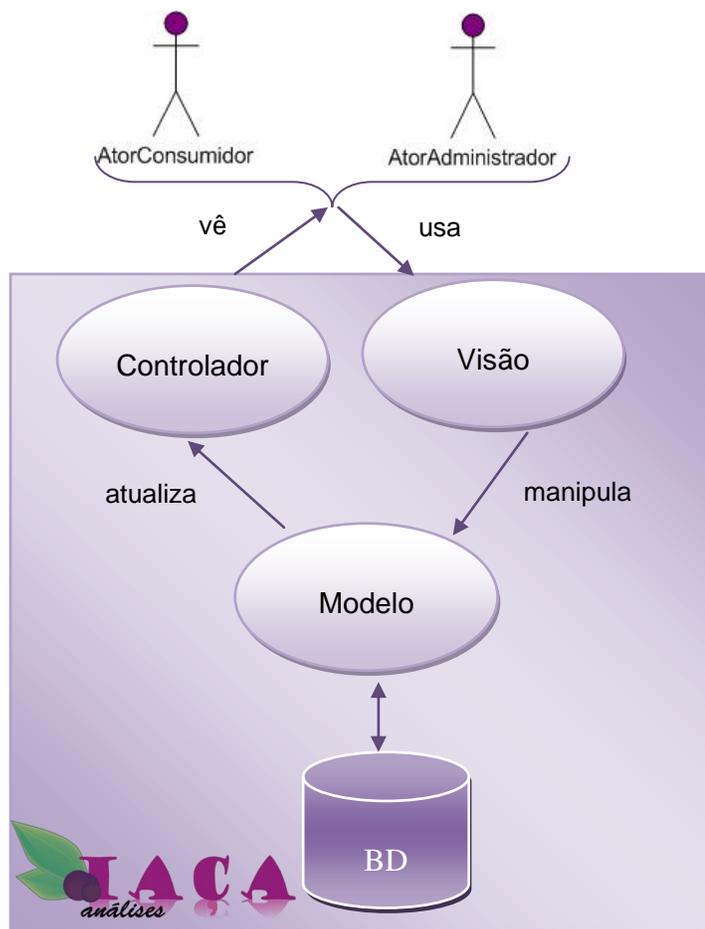


Figura 31. Arquitetura do Sistema Iça Análises

Modelo da Rede do Sistema

A Figura 32 ilustra o exemplo da arquitetura de rede com acesso ao Sistema laça Análises.

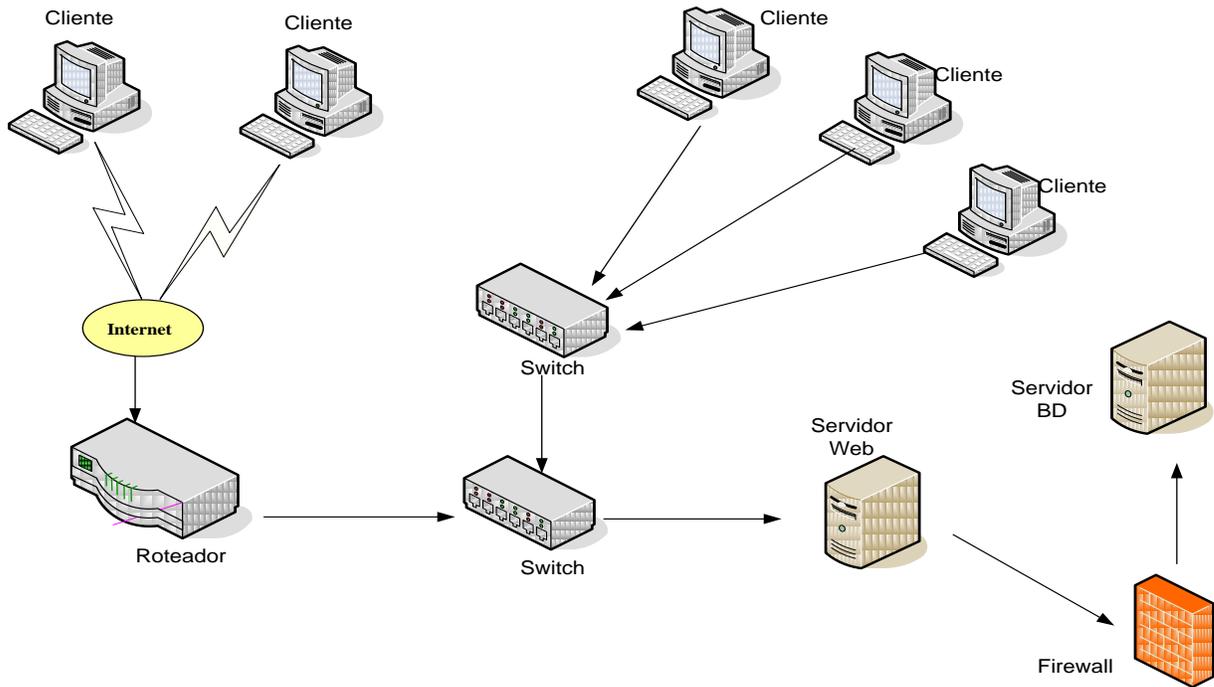


Figura 32. Modelo de Rede do Sistema laça Análises

Visão de Dados

A Figura 33 descreve o modelo entidade relacionamento (MER) do Sistema laça Análises. Para garantir a persistência dos objetos da aplicação, esse modelo foi baseado na definição do modelo de classes de análise.

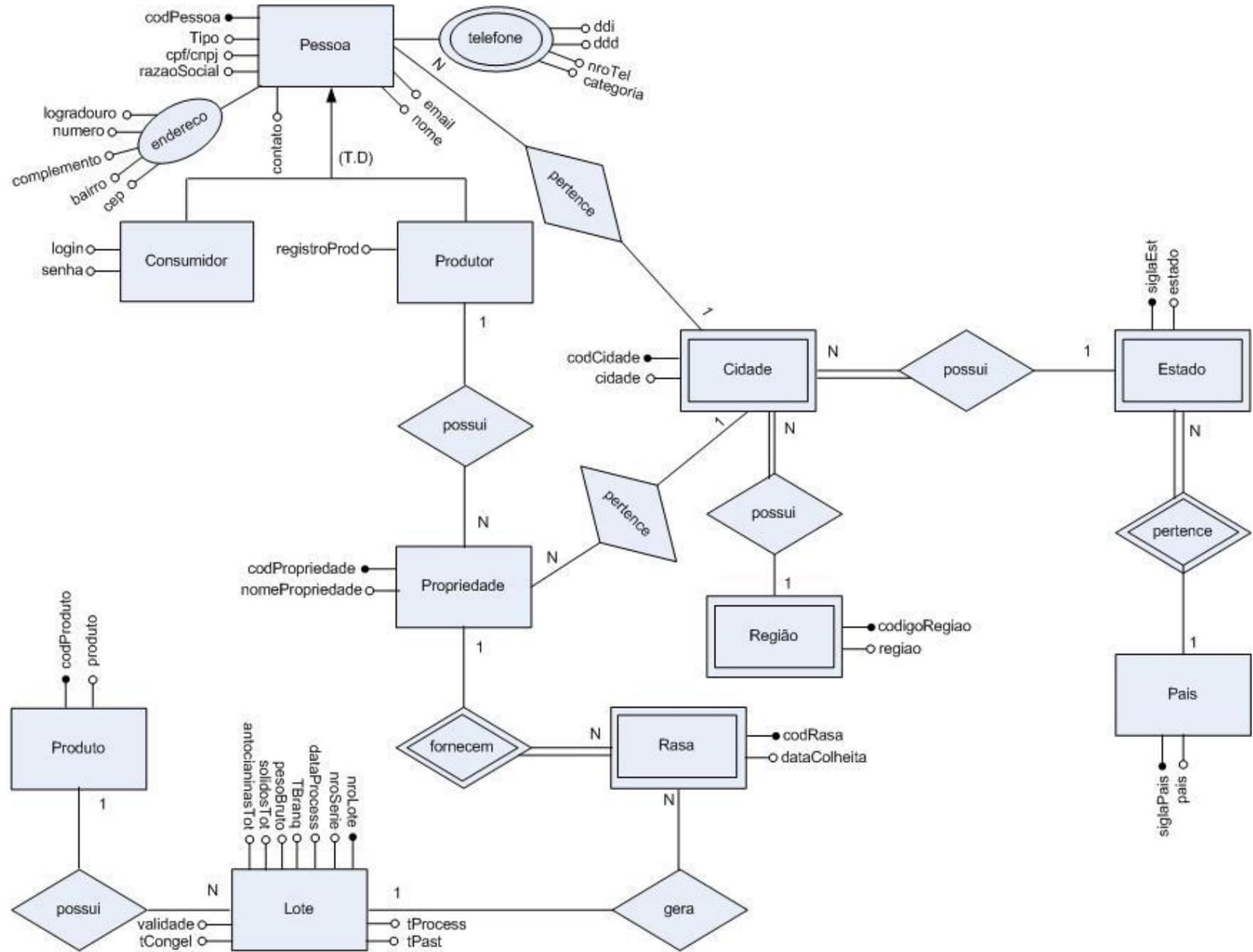


Figura 33. MER Sistema laça Análises

Visão de Componentes

A visão de componentes é um diagrama físico que mostra os vários componentes em um sistema e suas dependências. Similar a um pacote, mas com um enfoque ao empacotamento físico do código.

Uma classe pode estar em vários componentes, mas só pode estar definida em um único pacote.

No Sistema laça Análise existem basicamente duas categorias de componentes:

1. Componentes para apresentação dos dados (*frames*)
2. Componentes de acesso à base (métodos para interagir diretamente com o SGBD). Estes são compartilhados tanto pela parte web como a não web, tornando o sistema consistente e padronizado.

Um componente realiza um conjunto de interfaces (operações públicas que podem ser chamadas por outros componentes).

A Figura 34 ilustra os pacotes de componentes do Sistema laça Análise e suas respectivas relações.

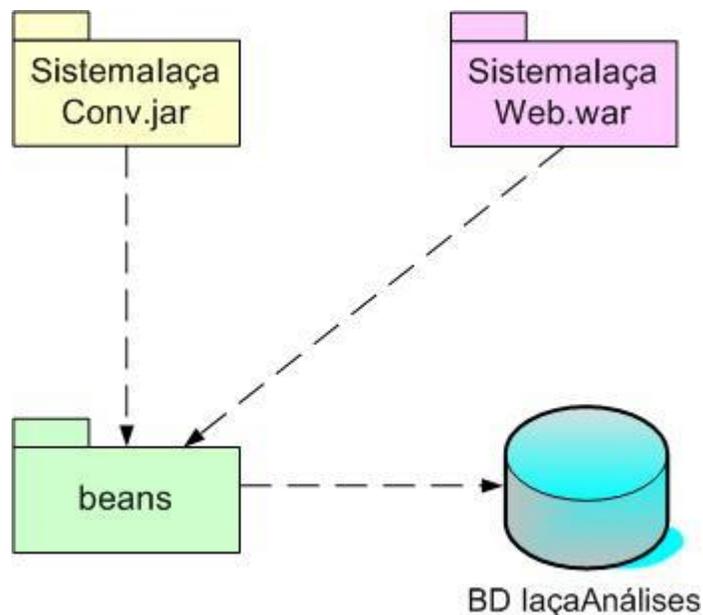


Figura 34. Modelo de Pacotes de Componentes

O pacote é um mecanismo de agrupamento que organiza as classes, pertencentes a uma mesma categoria ou que possuem a uma mesma funcionalidade, em “*namespace*”. A seta pontilhada representa a dependência entre os elementos.

Conclusões

A partir desse estudo, foram apresentados alguns fundamentos teóricos e conceituais, representados por métodos e padrões adotados pela ES, na construção de um Sistema que pode tornar-se fonte de vantagem competitiva para as agroindústrias brasileiras, no segmento das frutas processadas.

O Sistema laça Análises foi projetado para monitorar, estimar e armazenar variáveis da qualidade, ao longo do processamento da bebida de açaí, em fluxo contínuo, além da compatibilidade de uso em conexões *on line* que disponibilizam aos clientes informações relativas à qualidade e rastreabilidade do lote.

Capítulo 6

Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste trabalho procurou-se estabelecer as bases de uma tecnologia capaz de aumentar a vantagem competitiva das agroindústrias brasileiras de açaí. A tecnologia inclui a utilização de um método analítico rápido para medida de variáveis da qualidade e um sistema computacional capaz de processar e divulgar informação, monitorar variáveis e controlar processos.

Demonstrou-se ser possível desenvolver um método de medida baseada na Espectroscopia de Infravermelho Próximo para quantificação do teor de sólidos totais da bebida de açaí. Os experimentos mostraram também que essa espectroscopia é sensível a teores de água a partir de 105%.

O método, porém apresenta uma importante limitação: sua dependência ao equipamento e suas condições de uso, o que não o impede de ser utilizado na indústria desde que estabelecidos e respeitados os procedimentos operacionais.

O sistema computacional busca otimizar o processo de produção da bebida de açaí, em fluxo contínuo, assegurando a qualidade nas análises e acesso aos dados, além de permitir a difusão tecnológica no setor, fatores que viabilizam as estratégias de diferenciação nos produtos finais.

Trabalhos Futuros

Algumas sugestões para continuidade da pesquisa são listadas a seguir:

1. Aperfeiçoar o modelo de medida do Teor de Sólidos Totais ampliando o conjunto amostral;
2. Desenvolver um modelo de medida para Antocianinas Totais.
3. Implementar o sistema computacional proposto.

Referências

AGÊNCIA SEBRAE. 2009. Brasil é o terceiro maior produtor de frutas do mundo. Disponível em: <<http://www.canalrural.com.br/canalrural/jsp/default.jsp?uf=1&local=1&action=noticias&id=2535814§ion=noticias>>. Acesso em: 17 Jan. 2011.

AKWIE, S. N. L. T. Cinética de Amadurecimento, Extração e Estabilidade das Antocianinas do Açaí. 2000. 94f. Dissertação (Mestrado em Engenharia química) - Universidade Federal do Pará, Belém.

ALBARICI, T.R.; VALETA, A.C.; PESSOA, J.D.C. 2007. Efeito da Temperatura nas Antocianinas do Açaí (Comunicado Técnico 86). Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/30786>>. Acesso em: 17 Jan. 2011.

A.O.A.C. Official methods of analysis of the Association of Official An Arlington: Ed. Patrícia Cuniff, 2006. Disponível em: http://www.aoac.org/omarev1/2005_02.pdf. Acesso: 03 jan 2011.

BASTOS, T.X.; ROCHA, E.J. da; ROLIM, P.A.M.; DINIZ, T. D. de A. S.; SANTOS, E.C.R. dos; NOBRE, R.A.A.; CUTRIM, E.M.C.; MENDONÇA, R.L.D. de. O estado atual dos conhecimentos de clima da Amazônia brasileira com finalidade agrícola. In: SIMPÓSIO DO TRÓPICO ÚMIDO, 1., 1984, Belém, PA. Anais... Belém, PA: EMBRAPA-CPATU, 1986. V.1, P. 19-36. (EMBRAPA-CPATU. Documentos, 36).

BEEBE, K.R.; PELL, R.J.; SEASHOLTZ, M.B. Chemometrics: a practical guide. New York: A Wiley - Interscience Publication, 1998.

BELIK, W.; FUNCKE, A.; LIMA, L.C.O.; MASCARENHAS, G.C.; MORAIS, E.; PEREIRA, P.R.; PIGATTO, G.; MIRA, E.; SOUZA, R.P. Perspectiva de investimento em agroindústria. Rio de Janeiro: UFRJ, 2008-2009. 306p.

BEZERRA, J.A. O futuro na beira do cais. Globo Rural, São Paulo, v.22, n.256, p. 38–51, fev. 2007.

BOEHM, B.W.; SULLIVAN, K.J. Software economics: a roadmap. Internacional Conference on Software Engineering - ICSE - Future of SE Track. 319-343, Limerick, Ireland 2000.

BOKOBZA, L. Near Infrared Spectroscopy. Journal of Near Infrared Spectroscopy, v.6, n.1, p.3-17, 1998.

BOOCH, G.; RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I. The Unified Modeling Language Reference Manual, Second Edition. Addison-Wesley, 2004.

BOOCH, G.; RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I. UML: Guia do Usuário. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, Campus, 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 1, de 07 de janeiro de 2000. Aprova padrões de identidade e qualidade para polpas de frutas. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 10 jan. 2000. Seção 1, p. 54.

BROUILLARD, R. Em Anthocyanins as food colors; Markakis, P., ed.; Academic Press: New York, 1982, cap. 1.

BURNS, D.A.; CIURCZAK, E.W. Handbook of near-infrared analysis. 3. Ed. Boca Raton: CRC, 2008, 808 p.

CARVALHO, M.L.; ALMEIDA, D.; CARDOSO, J.; FIALHO D. Aferição da espectroscopia NIR na determinação de alguns parâmetros de qualidade em ameixas. In Simpósio Nacional de Fruticultura, 2, Castelo Branco, 4-5 de Fevereiro - Actas. Lisboa: APH. p. 220-227. (Actas Portuguesas de Horticultura; 16), 2010a.

CARVALHO, M.L.; ALMEIDA, D.; CARDOSO, J.; FIALHO D. Aplicação da espectroscopia NIR na determinação de alguns parâmetros de qualidade em pêra

'Rocha' e maçã 'Gala'. In Simpósio Nacional de Fruticultura, 2, Castelo Branco, 4-5 de Fevereiro - Actas. Lisboa: APH. p. 236-243. (Actas Portuguesas de Horticultura; 16), 2010b.

CAYUELA, J.A. Vis/NIR soluble solids prediction in intact oranges (*Citrus sinensis* L.) cv. Valencia Late by reflectance. *Postharvest Biology and Technology* 47: 75–80, 2008.

COSTA FILHO, P.A.; POPPI, R.J. Aplicação de algoritmos genéticos na seleção de variáveis em espectroscopia no infravermelho médio. Determinação simultânea de glicose, maltose e frutose. *Química Nova*, São Paulo, v. 25, p. 46-52, 2002.

CONAB. 2011. Conjuntura mensal Açaí (fruto). Brasil: Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_06_22_17_13_53_conjuntura_acaijunho2011..pdf>. Acesso em: 24 Jul.2011.

CONSTANT, P. B. L.. Extração, Caracterização e Aplicação de Antocianinas de Açaí (*Euterpe oleracea*, Mart.). 183 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Viçosa, MG, 2003.

CÓRDOVA-FRAGA, T.; ARAUJO, D.B. de; SANCHEZ, T. A.; ELIAS JUNIOR, J.; CARNEIRO, A. A. O.; BRANDT-OLIVEIRA, R.; SOSA, M.; BAFFA, O. *Euterpe oleracea* (Açaí) as an alternative oral contrast agent in MRI of the gastrointestinal system: preliminary results. *Magnetic Resonance Imaging* 22:389-393, 2004.

DA SILVA, E. M. Otimização de Métodos de Análise de Antocianinas: poder Antioxidante e Quantificação Rápida. 2002. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal do Pará, Belém.

ELMASRI, R.; NAVATHE, S. B. Sistemas de banco de dados. 6ª. ed. São Paulo: Pearson Education, 2011.

FALCÃO, L.D.; BARROS, D. M.; GAUCHE, C.; LUIZ, M. T. B. Copigmentação intra e intremolecular de antocianinas: uma revisão. *CEPPA*, 21, p. 351-366, 2003.

FARIAS NETO, J. T.; MÜLLER, C. H.; MÜLLER, A. A.; CARVALHO, J. E. U.; VIÉGAS, I. J. M. Cultivar e produção de mudas. In: NOGUEIRA, O. L.; FIGUEIRÊDO, F. J. C.; MÜLLER, A. A. (Ed.). Açai. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2005. p. 20-27. (Embrapa Amazônia Oriental. Sistema de Produção, 4).

FERREIRA, A.L.A.; MATSUBARA, L.S. Radicais livres: conceitos, doenças relacionadas, sistema de defesa e estresse oxidativo. Rev. Ass. Med. Brasil 43(1), p. 61-8, 1997.

FERREIRA, M.M.C.; ANTUNES, A.M.; MELGO, M.S.; VOLPE, P.L.O. Quimiometria I: calibração multivariada, um tutorial. Quím. Nova, São Paulo, v. 22, n. 5, p. 724-731, 1999.

FLORES, K.; SÁNCHEZ, M.T.; PÉRES-MÁRIN, D.C.; LÓPEZ, M.D.; GUERREIRO, J.E.; GARRIDO-VARO, A. Prediction of total soluble solid content in intact and cut melons and watermelons using near infrared spectroscopy. Journal of Near Infrared Spectroscopy, v. 16, p. 91-98, 2008.

FORTUNA, M.H. Info cases: um modelo integrado de requisitos com casos de uso. 215 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas e Computação). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

FU, X.; YING, Y.; LU, H.; XU, H.; YU, H. FT-NIR diffuse reflectance spectroscopy for kiwifruit firmness detection. Sens. & Instrumen. Food Qual. 1, p. 29-35, 2007.

GOLIC, M.; WALSH, K. B. Robustness of calibration models based on near infrared spectroscopy for the in-line grading of stonefruit for total soluble solids content. Analytica Chimica Acta 555, p. 286-291, 2006.

GÓMES, A.H.; HE, Y.; PEREIRA, A.G. Non-destructive measurement of acidity, soluble solids and firmness of Satsuma mandarin using Vis/NIR-spectroscopy techniques. Journal of Food Engineering, v. 77, p. 313-319, 2006.

GONZAGA, F.B. 2006. Desenvolvimento de um espectrofotômetro de emissão para a região do infravermelho próximo. 110 f. Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

HAGIWARA A.; MIYASHITA K.; NAKANISHI T.; SANO M.; TAMANO S.; KADOTA T.; KODA T.; NAKAMURA M.; IMAIDA K.; ITO N.; SHIRAI T., 2001. Pronounced inhibition by a natural anthocyanin, purple corn color, of 2-amino-16-phenylimidazol (4,5-b) pyridine (PhIP)-associated colorectal carcinogenesis in male F344 rats pretreated with 1,2- dimethylhydrazine. *Cancer Letters*, 171, p.17-25.

HARBORNE, J.B.; WILLIAMS, C.A. Advances in flavonoid research since 1992. *Phytochemistry*, v.52, p.481-504, 2000.

HARRIS, D.C.; BERTOLUCCI, M.D. Symmetry and Spectroscopy, and Introduction to Vibrational and Eletronic Spectroscopy. New York, Dover Publications, 1978.

HARRIS, D.C. Análise Química Quantitativa. 6 Ed. LTC, 2005.

HENDERSON, A.; GALEANO, G. Euterpe, Prestoea, and Neonicholsonia (Palmae: Euterpeinae). New York: New York Botonical Garden, 1996, 90p. (Flora Neotropica, 72).

HUANG, H., YU, H., XU, H. & YING, Y. Near infrared spectroscopy for on/in-line monitoring of quality in foods and beverages: A review. *Journal of Food Engineering*, 87, p. 303-313, 2008.

IBGE. 2007. Produção da extração vegetal e da silvicultura: Belém - PA, Brasil. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/servidor_arquivos_est/default.php?caminho=./pub/ProducaoAgricola/Producao_da_Extracao_Vegetal_e_da_Silvicultura_\[anual\]/2007](http://www.ibge.gov.br/servidor_arquivos_est/default.php?caminho=./pub/ProducaoAgricola/Producao_da_Extracao_Vegetal_e_da_Silvicultura_[anual]/2007)>. Acesso em: 07 Jan. 2011.

ISO/IEC 9126-1. Software engineering: product quality, Part 1: Quality Model. [S.I], 2001.

JORDAN, R. B.; WALTON, E. F.; KLAGES, K. U.; SEELYE, R. J. Postharvest fruit density as na indicador of dry matter and ripened soluble solids of kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology* 20, p. 163-173, 2000.

KWAK, C.W.; CHOUNG, D.H.; MIN, S.R.; KIM, S. W.; LIU, J.R.; CHUNG, H. Fast determination of the ripeness stage of strawberries using infrared spectroscopy combined with Principal Component Analysis. *Analytical Sciences*, v. 23, p. 895-899, 2007.

KOTONYA, G.; SOMMERVILLE, I. *Requirements Engineering: Process and Techniques*. 1 ed. Editora Wiley. 1998.

LEITHOLD, L. *Cálculo com geometria analítica*. 3.ed. São Paulo: Harbra, v.1, 1994. 616p.

LIU, Y.; SUN, X.; ZHOU, J.; ZHANG, H.; YANG, C. Linear and nonlinear multivariate regressions for determination sugar content of intact Gannan navel orange by Vis–NIR diffuse reflectance spectroscopy. *Mathematical and Computer Modelling in Agriculture*. v. 51, Issues 11-12, p. 1438-1443, 2010.

LORENZI, H.A.; BACKER, L.; LACERDA, M.; SARTORI, S. *Frutas brasileiras e exóticas cultivadas (de consumo in natura)*. Instituto Plantarum de estudos da flora, 2006.

MAC KNIGHT, D. *Elicitação de Requisitos de Software a partir do Modelo de Negócio*. Dissertação (Mestrado em Informática). Núcleo de Computação Eletrônica (NCE), Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2004.

MAPA. 2011. Confirmação de Fechamento da Ordem de Serviço nº 186608 na Central de Relacionamento – MAPA. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por em 14 Jun 2011.

MARTENS, H., NAES, T. Multivariate Calibration. New York: John Wiley & Sons, 1993.

MELLO, C.A. Redes neurais e técnicas de pré-processamento de sinais em espectroscopia de reflectância no infravermelho próximo. 147f. Tese (Doutorado em Química), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1988.

MAZZA, G. B.; BROUILLARD, R. Recent developments in the stabilization of anthocyanins in food products. Food Chemistry. v.25, p.207-225, 1987.

MELO, E.; MACIEL, M.; LIMA, V.; LEAL, F.; CAETANO, A.; NASCIMENTO, R. Capacidade antioxidante de hortaliças usualmente consumidas. Ciênc. Tecnol. Aliment., v. 26, n. 3, p. 639-644, 2006.

MELO, W.L.B; YASSUDA, M.T.; CRUVINEL, P.E. 2001. Metodologia Fototérmica Fotopiroelétrica para a Determinação do Teor de Palha em Café Torrado e Moído. (Comunicado Técnico 44). Disponível em: <www.cnpdia.embrapa.br/publicacoes/download.php?file=CT44_2001.pdf>. Acesso: 16 mai. 2011.

MENEZES, E.M.S.; TORRES, A.T.; SABAA SRUR, A.U. Valor nutricional da polpa de açaí (*Euterpe Oleracea* Mart) liofilizada. Acta Amaz. [online]. 2008, vol.38, n.2, pp. 311-316. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0044-59672008000200014&script=sci_arttext&tIng=es. Acesso: 28 Set. 2009.

MOIGNE, M.L.; MAURY C.; BERTRAND D.; JOURJON, F. Sensory and instrumental characterisation of Cabernet Franc grapes according to ripening stages and growing location, Food Quality and Preference, v. 19, p. 220-231, 2008.

MORGANO, M. A. 127 f. Aplicação de métodos quimiométricos em análise de alimentos. Tese (Doutorado em Química), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2005.

NASCIMENTO, R.J.S.; COURI, S.; ANTONIASSI, R.; FREITAS, S.P. Composição em ácidos graxos do óleo de açaí extraído com enzimas e com hexano. Rev. Bras. Frutic. v. 30, n. 2, 2008. p. 498–502.

NICOLAÏ, B.M.; BEULLENS, K.; BOBELYN, E.; PEIRS, A.; SAEYS, W.; THERON, K.I.; LAMMERTYN, J. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. Postharvest Biology and Technology, v. 46, p. 99-118, 2007a.

NICOLAÏ, B.M.; THERON, K.I.; LAMMERTTYN, J. Kernel PLS regression on wavelet transformed NIR spectra for prediction of sugar content of apple. Chemometrics and intelligent laboratory systems, v. 85, p. 243-252, 2007b.

NICOLAÏ, B.M.; VERLINDEN, B.E.; DESMET, M.; SAEVELS, S.; SAEYS, W.; THERON, K.; CUBEDDU, R.; PIFFERI, A.; TORRICELLI, A. Time-resolved and continuous wave NIR reflectance spectroscopy to predict soluble solids content and firmness of pear. Postharvest Biology and Technology, v. 47, p. 68-74, 2008.

NASCIMENTO, R.J.S.; COURI, S.; ANTONIASSI, R.; FREITAS, S.P. Composição em ácidos graxos do óleo de açaí extraído com enzimas e com hexano. Rev. Bras. Frutic. v. 30, n. 2, 2008. p. 498–502.

NOGUEIRA, O.L.; FIGUEIRÊDO, F.J.C.; MÜLLER, A.A. (Ed.). Açaí. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2005. 137 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Sistemas de Produção, 4).

OLIVEIRA, M. S. P. de; CARVALHO, J. E. U. de; NASCIMENTO, W.M.O. do. Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.). Jaboticabal: Funep, 2000. 52p. (Série Frutas Nativas, 7).

OMG, 2008. UML 2.0 Specification. Object Management Group. Disponível em: <<http://www.uml.org/>>. Acesso em: 08 mar. 2011.

OSBORNE, B. G. Near-infrared spectroscopy in food analysis. In Encyclopedia of Analytical Chemistry. Meyers, R. A. (ed.) John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 1-14 p, 2000.

PACHECO-PALENCIA, L. A.; HAWKEN, P.; TALCOTT, S.T. Phytochemical, antioxidant and pigment stability of açai (*Euterpe oleracea* Mart.) as affected by clarification, ascorbic acid fortification and storage. Food Research International, v.40, n., p.620-628, 2007.

PARÁ. Secretaria de Estado de Agricultura. 2011. Frutal e Flor Pará garantem mercado para produtos amazônicos. Disponível em: <<http://www.sagri.pa.gov.br/?q=node/165>>. Acesso em: 17 Jan. 2011.

PARK, K.J; ANTONIO, G.C; OLIVEIRA, R.A; PARK, K.J.B. Seleção de Processos e Equipamentos de Secagem. Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2006. Disponível em: <www.feagri.unicamp.br/ctea/manuais/selprcequipsec.pdf>. Acesso em: 15 Jun. 2011.

PARREIRA, T. F. Utilização de métodos quimiométricos em dados de Natureza multivariada. Dissertação de Mestrado em Química, UNICAMP, Campinas, SP, Brasil, 2003.

PASQUINI, C. Near infrared spectroscopy: Fundamentals, practical aspects and analytical applications. J. Brazil. Chem. Soc. 2003, 14, 198.

PAZ, P.; SÁNCHEZ, M. T.; PÉREZ-MARÍN, D.; GUERREIRO, J. E.; GARRIDO-VARO, A. Nondestructive determination of total soluble solid content and firmness in plums using near-infrared reflectance spectroscopy. Journal of Agricultural and Food Chemistry v. 56, p. 2565-2570, 2008.

PEDRO, A. M. K., 2004. Determinação simultânea e não-destrutiva de sólidos totais e solúveis, licopeno e beta-caroteno em produtos de tomate por espectroscopia no

Infravermelho Próximo utilizando calibração multivariada. Dissertação de Mestrado em Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 118p.

PEIRS, A.; SCHEERLINCK, N.; TOUCHANT, K.; NICOLAÏ, B. M. Comparison of Fourier Transform and Dispersive Near-Infrared Reflectance Spectroscopy for Apple Quality Measurements. *Biosystems Engineering* 81 (3), p. 305-311, 2002.

PEIRS, A.; SCHENK, A.; NICOLAÏ, B. M. Effect of natural variability among apples on the accuracy of VIS-NIR calibration models for optimal harvest date predictions. *Postharvest Biology and Technology*, v. 35, p. 1-13, 2005.

PENDER, T. UML Bible. 1 ed., Indianapolis, Indiana, USA, Wiley Publishing, Inc., 2003.

PEREIRA, I. F. J. M. Aplicação da espectroscopia NIRS (Near Infrared Spectroscopy) na avaliação da qualidade da carne de vitelo. Relatório de Fim de Curso em Engenharia Agrônômica. ISA, UTL, Lisboa, 2000.

PIMENTEL, B.M.V.; FRANCKI, M.; GOLLUCKE, B.P. Alimentos funcionais: introdução às principais substâncias bioativas em alimentos. São Paulo: Editora Varela, 2005.

PINHEIRO, R.V.R.; MARTELETO, L.O.; SOUZA, A.C.G. de; CASALI, W.W.D.; CONDÉ, A.R. 1984. Produtividade e qualidade dos frutos de dez variedades de goiaba, em Visconde do Rio Branco, Minas Gerais, visando ao consumo ao natural e à industrialização. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 31, p. 360-387.

PRESSMAN, R. S. Engenharia de Software. 6. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

RAMOS, G.; ALVES, A.L.; HERMES-LIMA, M. Radicais livres, antioxidantes e adaptabilidade animal. In: EL-HANI, C.N.; VIDEIRA, A.A.P. (eds). *O que é vida: para entender a biologia do século XXI*. p.209-231, 2000.

RAPISARDA, P.; FANELLA, F.; Macarone, E. Reliability of analytical methods for determining anthocyanins in Blood Orange Juices. *Journal of agricultural and food chemistry*, Easton, v. 48, p. 2249-2252, 2000.

REID, L. M.; O'DONNELL, C. P.; DOWNEY, G. Recent technological advances for the determination of food authenticity. *Trends in Food Science & Technology*, v. 17, p. 344–353, 2006.

REITA, J.; PEANO, C.; SARANWONG, S.; KAWANO, S. An evaluating technique for variety compatibility of fruit applied to a near infrared Brix calibration system: a case study using Brix calibration for nectarines. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, v. 16, p. 83-89, 2008.

ROCHA, A.P.M.; CARVALHO, L.C.R.M; SOUSA, M. A. V.; MADEIRA, S. V. F.; SOUSA, P. J. C.; TANO, T.; SCHINI-KERTH, V. B.; RESENDE, A. C.; SOARES de MOURA, R. Endothelium-dependent vasodilator effect of *Euterpe oleracea* Mart. (Açaí) extracts in mesenteric vascular bed of the rat. *Vascular Pharmacology* 46, p. 97-104, 2007.

ROGEZ, H. Açaí: preparo composição e melhoramento da conservação. Belém: EDUFPA. 313 p., 2000.

ROGGO, Y.; CHALUS, P.; MAURER, L.; LEMA-MARTINEZ, C.; EDMOND, A.; JENT, N. A review of near infrared spectroscopy and chemometrics in pharmaceutical Technologies – Review. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, v. 44, p. 683–700, 2007.

SALGADO, S.M.; GUERRA, N.B.; MELO FILHO, A.B. Polpa de fruta congelada: efeito do processamento sobre o conteúdo de fibra alimentar. *Rev. Nutr.*, v.12, n.3, p.303-308, 1999.

SANABRIA N.; SANGRONIS, E. Caracterización del açaí o manaca (*Euterpe oleracea* Mart.): Um fruto del Amazonas. *Arch Latinoam Nutr.* 57(1), p. 94-98, 2007.

SANTANA, A.C. de. Dinâmica espacial da produção rural do Estado do Pará: referências para o desenvolvimento sustentável. Belém: UFRA, 2006. (Série Acadêmica, 02).

SANTANA, A.C. de. Índice de desempenho competitivo das empresas de polpa de frutas do Estado do Pará. Rev. Econ. Sociol. Rural, Brasília, v. 45, n. 3, Sept. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032007000300009&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 05 Jun. 2011.

SANTANA, A.C. de; COSTA, F.A. O mercado de açaí no Pará. In: HERVÉ, R. (Org.) Açaí ao alcance de todos. Belém: ADA, UFPA, UFRA, 2006.

SANTOS, K.M. dos. Classificação de Café Torrado e Moído empregando Espectroscopia NIR e Análise Multivariada. 86 f. Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2006.

SANTOS, P.S. Aplicação da Espectroscopia de Infravermelho Próximo na Avaliação de alguns Atributos de Qualidade em Pêra 'Rocha' e Maçã 'Gala'. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrônômica), Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

SARANWONG, S.; SORNSRIVICHAI, J.; KAWANO, S. Prediction of ripe-stage eating quality of mango fruit from its harvest quality measured nondestructively by near infrared spectroscopy. Postharvest Biology and Technology, v. 31, p. 137-145, 2004.

SAVITSKY, A.; GOLAY, M.J.E. Smoothing and differentiation by simplified least squares procedures. Analytical Chemistry, v.36, p.1627-1632, 1964.

SCHMIDT, M. Gorduras inteligentes: como as gorduras e os óleos da dieta afetam, as inteligências mental, física e emocional. 1ª ed. São Paulo: Roca, 2000.

SILVA, M.C.N. Competitividade das agroindústrias de polpas de frutas das mesorregiões Metropolitana de Belém e Nordeste Paraense (1996 a 2003). 134 f. Dissertação (Mestrado em Economia), Universidade da Amazônia, Belém, 2006.

SIMAS, R. C. Determinação de proteína bruta e aminoácidos em farelo de soja por espectroscopia no infravermelho próximo. 119 f. Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

SKOOG, D.A.; HOLLER, F.J.; NIEMAN, T.A.N. Princípios de Análise Instrumental. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

SLAUGHTER, D.C.; CAVALETTO, C.G.; GAUTZ, L.D.; PAULL, R.E. Non-destructive determination of soluble solids in papayas using near infrared spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, v. 7, p. 223-228, 1999.

STENCL, J.; OTTEN, L.; GOTTHARDOVA, J.; HAMOLA, P. Model comparisons of equilibrium moisture content of prunes in the temperature range of 15 45°C. *Journal of Stored Products Research*. London, v.35, n.1, p.27-36, 1999.

STEUER B.; SCHULZ, H.; LÄGER, E. Classification and analysis of citrus oils by NIR spectroscopy. *Food Chemistry*, v. 72, p. 113-117, 2001.

SODHI, J.; SODHI, P. *Software Reuse: Domain Analysis and Design Process*. McGraw-Hill, 1999.

SOMMERVILLE, I. *Engenharia de Software*. 6. ed. São Paulo: Addison Wesley, 2003. 591p.

SWEBOK. *Guide to the Software Engineering Body of Knowledge*. v. 2004. IEEE Computer Society, California, EUA. Disponível em: <<http://www.swebok.org/>>. Acesso em: 08 mar. 2011.

TATTINI JUNIOR, V. 106 f. Etapas críticas na liofilização do pericárdio bovino. Tese (Doutorado em Tecnologia Bioquímica-Farmacêutica), Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2008.

TEIXEIRA, L.N.; STRINGHETA, P.C.; OLIVEIRA, F.A. Comparação de métodos para quantificação de antocianinas. *Ceres*, Viçosa, v.55, n.4, p.297-304, 2008. Disponível em: <http://www.ceres.ufv.br/CERES/revistas/V55N004P04708.pdf>. Acesso: 02 fev 2011.

TINOCO, A.C. Açaí Amazônico: novas perspectivas de negócio. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2005. 1 CD-ROM. Trabalho apresentado no Workshop Regional do Açaizeiro: pesquisa, produção e comercialização, Belém, PA, 2005.

TORREZAN, R.; JARDINE, J.G; VITALI, A.A.. Efeito da adição de solutos e ácidos em polpa de goiaba. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, v. 19, n. 1, Jan. 1999. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20611999000100011&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 04 Mar. 2011.

VASCONCELOS, M.A.M. de; ALVES, S.M. Sistema de Produção do Açaí: colheita e pós-colheita. 2006. Disponível em: http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Acai/SistemaProducaoAcai_2ed/paginas/colheita.htm. Acesso em: 13 jan. 2011.

VITALLI, A.A. Importância da atividade de água em alimentos. In: Jardim, D.C.P. (Org.) Seminário sobre a atividade de água em alimentos, 1, 1987, Campinas. Resumos. Campinas: ITAL, 1987. p.1-5.

ZUDE, M.; HEROLD, B.; ROGER, J. M.; BELLON-MAUREL, V.; LANDAHL, S. Non-destructive tests on the prediction of apple fruit flesh firmness and soluble solids content on tree and in shelf life. *Journal of Food Engineering* v. 77, p. 254-260, 2006.

WALSH, K. B., Commercial adoption of technologies for fruit grading, with emphasis on NIR. Information and technology for Sustainable Fruit and Vegetable Production. FRUTIC 05, Montpellier, France, 399-407 p., 2005.

WILLIAMS, P.; NORRIS, K. Near Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries. American Association of Cereal Chemists, Inc. Minnesota, USA, 1990.