Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Método *Shenon* (Shelf life prediction for Non-accelarated
Studies) na predição do tempo de vida útil de alimentos

Natália da Silva Martins

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em
Ciências. Área de concentração: Estatística e Experi-
mentação Agronômica

Piracicaba
2016

Natália da Silva Martins
Bacharel em Estatística

**Método *SheNon* (Shelf life prediction for Non-accelarated Studies) na
predição do tempo de vida útil de alimentos**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientadora:
Prof^a. Dr^a. **SÔNIA MARIA DE STEFANO PIEDADE**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em Ciências.
Área de concentração: Estatística e Experimentação Agronômica

**Piracicaba
2016**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Martins, Natália da Silva

Método *Shenon* (Shelf-life prediction for Non-accelarated Studies) na predição do tempo de vida útil de alimentos / Natália da Silva Martins. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2016.
117 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Análise multivariada 2. Regressão linear 3. Predição 4. Tempo de vida útil 5. Estudos não acelerados I. Título

CDD 664.028
M386m

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

*À Deus e a Nossa Senhora das Graças, por abençoar
meu dia-a-dia.*

*Aos meus pais, Paulo e Terezinha, por sempre
acreditarem em mim.*

*Aos meus padrinhos, José e Celina, por serem exemplo
de família.*

*À minha irmã, por me ajudar a tornar-me uma pessoa
melhor.*

*Ao meu sobrinho Paulo Augusto, pelos inúmeros
momentos de alegrias e por me mostrar o quão lindo é
o dom da vida.*

*Com amor, **DEDICO***

AGRADECIMENTOS

A Deus por me amparar nos momentos difíceis, me dar força interior para superar as dificuldades, mostrar o caminho nas horas incertas.

Aos meus pais, Paulo e Terezinha, por sempre primarem pela minha educação, além de todo cuidado e amor oferecidos incondicionalmente.

Aos meus padrinhos, José e Celina, por sempre estarem presentes aconselhando-me e amando-me como uma filha.

A minha irmã, Ana Paula, e ao meu cunhado, Rodrigo, por cada gesto de carinho, por serem exemplos de perseverança e vitória.

Ao meu querido sobrinho Paulo Augusto, que encheu nossas vidas de esperanças e alegrias.

A minha orientadora Sônia Maria De Stefano Piedade por todos ensinamentos transmitidos, dedicação e principalmente por se mostrar tão amiga.

Ao professor Eric Batista Ferreira por toda ajuda, paciência e amizade revelada ao longo do desenvolvimento desta tese.

Aos meus estimáveis amigos Erik Augusto, Tiago Santana, Tiago Silveira, Lucas Santana, Elisângela, Kellen, Thiago Gentil, Davi Butturi, Andréia Mara, André Sanches, Michel, Rafael e Alessandra por fazerem parte dessa conquista.

Aos amigos da Universidade Federal de Alfenas, Denismar, Anderson, Adriana, Fabrício, Luciana, Luiz Alberto, Flávio e Evandro por todo apoio.

A todos os moradores da “Vila da Pós Graduação” pelos momentos de alegrias, em especial: Tati, Baiano e Chacina.

A Luciane Brajão, Eduardo, Jorge, Solange e Mayara por toda ajuda prestada durante estes anos.

A todos os professores do PPGEEA e funcionários da ESALQ/USP que contribuíram para o desenvolvimento desta tese.

Ao Programa de Pós Graduação em Estatística e Experimentação Agronômica (PPGEEA) e a Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”-ESALQ/USP pela oportunidade concedida.

As senhoras Solange e Áurea da Divisão de Atendimento à Comunidade (DVATCOM) por todo carinho e ajuda prestados durante esses anos.

A todos vocês que me ajudaram a realizar mais este sonho meus sinceros agradeci-

mentos.

“Devemos ser gratos a Deus pelos pequenos detalhes. Nos detalhes descobrimos o valor de uma realidade. Olhar as miudezas da vida faz a diferença” (Padre Fábio de Melo).

“É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota.”

(Theodore Roosevelt)

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes.”

(Marthin Luther King)

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	13
LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DE TABELAS	21
1 INTRODUÇÃO	23
Referências	26
2 PREDIÇÃO DO TEMPO DE VIDA ÚTIL PARA ALIMENTOS EM ESTU- DOS NÃO ACELERADOS (<i>SHENON</i>) APLICADO EM BERINJELAS MINIMA- MENTE PROCESSADAS	29
Resumo	29
Abstract	29
2.1 Introdução	30
2.2 Método proposto	31
2.3 Experimento	35
2.4 Resultados e Discussão	36
2.5 Conclusão	46
Referências	47
3 ESTUDO DE ESTABILIDADE E SENSIBILIDADE DO MÉTODO <i>SHENON</i> ..	51
Resumo	51
Abstract	51
3.1 Introdução	52
3.2 Estudo de simulação empregando informações de dados reais	53
3.3 Estudo de simulação considerando diferentes cenários	56
3.4 Conclusão	59
Referências	60
4 MÉTODO <i>SHENON</i> PARA DADOS EXPERIMENTAIS	63
Resumo	63
Abstract	63
4.1 Introdução	65
4.2 Experimento	67
4.3 Método <i>SheNon</i> aplicado a dados experimentais	68

4.4	Resultados e discussão	69
4.5	Conclusão.....	115
	Referências	116

RESUMO

Método *SheNon* (Shelf life prediction for Non-accelarated Studies) na predição do tempo de vida útil de alimentos

A determinação do tempo de vida útil dos alimentos é importante, pois garante que estes estejam adequados para o consumo se ingeridos dentro do período estipulado. Os alimentos que apresentam vida curta têm seu tempo de vida útil determinado por estudos não acelerados, os quais demandam métodos multivariados de análise para uma boa predição. Considerando isso, este estudo objetiva: propor um método estatístico multivariado capaz de prever o tempo de vida útil de alimentos, em estudos não acelerados; avaliar sua estabilidade e sensibilidade frente a perturbações provocadas nas variáveis de entrada, utilizando técnicas de simulação bootstrap; apresentar o método *SheNon* para dados experimentais por meio da construção de contrastes dos tempos preditos dos tratamentos de interesse e compará-los com uma diferença mínima significativa (DMS) obtida empiricamente por meio do método bootstrap. Com os resultados provenientes deste estudo constatou-se que o método proposto mostra-se promissor e estável para a predição do tempo de vida útil de alimentos em estudos não acelerados. O método mostrou-se sensível ao número de tempos (tamanho da amostra) em que o alimento foi observado. Verificou-se, também, bom desempenho na análise de dados experimentais, uma vez que após predição do tempo de vida útil para cada tratamento considerado, pode-se inferir sobre a igualdade dos tempos de vida de diferentes tratamentos.

Palavras-chave: Análise multivariada; Regressão linear; Predição; Tempo de vida útil; Estudos não acelerados

ABSTRACT

***SheNon* (Shelf life prediction for Non-accelarated Studies) method in the predicting the shelf life of food**

Consumers are increasingly demanding about the quality of food and expectation that this quality is maintained at high level during the period between purchase and consumption. These expectations are a consequence not only of the requirement that the food should stay safe, but also the need to minimize the unwanted changes in their sensory qualities. Considering food safety and consumer demands this study aims to propose a multivariate statistical method to predict the shelf life of time not accelerated studies, the method *SheNon*. The development of multivariate method for predicting the shelf life of a food, considering all attributes and their natures describes a new concept of data analysis for estimating the degradation mechanisms that govern food and determines the time period in which these foods retain their characteristics within acceptable levels. The proposed method allows to include microbiological, physical, chemical and sensory attributes, which leads to a more accurate prediction of shelf life of food. The method *SheNon* features easy interpretation, its main advantages include the ability to combine information from different natures and can be generalized to data with experimental structure. The method *SheNon* was applied to eggplants minimally processed predicting a lifetime of around 9.6 days.

Keywords: Multivariate analyses; Linear regression; Shelf-life; Predict; Non-accelareted studies

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema do algoritmo para a construção do método <i>SheNon</i> proposto neste estudo	34
Figura 2 - Berinjelas fatiadas em rodela para o experimento	35
Figura 3 - Gráficos <i>Box-plot</i> dos atributos físico-químicos e sensoriais das berinjelas utilizados para aplicação do método <i>SheNon</i>	39
Figura 4 - Gráficos <i>Box-plot</i> dos atributos físico-químicos e sensoriais das berinjelas utilizados para aplicação do método <i>SheNon</i> (continuação da Figura 3) ..	40
Figura 5 - Gráficos <i>Box-plot</i> dos atributos físico-químicos e sensoriais das berinjelas utilizados para aplicação do método <i>SheNon</i> (continuação da Figura 3) ..	41
Figura 6 - Componentes principais 1 e 5 dos espaço de produtos (escores) (a); e espaço de variáveis (<i>loadings</i>) (b), juntamente com as correlações com o tempo	42
Figura 7 - Comportamento do primeiro componente principal em função do tempo (a). Comportamento do quinto componente principal em função do tempo (b).....	43
Figura 8 - Modelo de regressão linear ajustado aos dados de berinjela minimamente processada controle	44
Figura 9 - Envelope simulado para o diagnóstico da qualidade do modelo ajustado .	45
Figura 10 - Distribuições de bootstrap das predições de vida útil de berinjela sob os tratamentos considerados, destacando-se o intervalo com 95% de confiança (linha pontilhada) e a predição pontual (linha contínua)	55
Figura 11 - Predições médias dos tempos de vida útil da berinjela minimamente processada com respectivos intervalos de predições para cada cenário	58
Figura 12 - Gráficos <i>Box-plot</i> dos atributos físico-químicos e sensoriais de acordo com o tempo referentes ao tratamento controle	78
Figura 13 - Gráficos <i>Box-plot</i> dos atributos físico-químicos e sensoriais de acordo com o tempo referentes ao tratamento controle (continuação da Figura 12).....	79
Figura 14 - Gráficos <i>Box-plot</i> dos atributos físico-químicos e sensoriais de acordo com o tempo referentes ao tratamento controle (continuação da Figura 12).....	80

Figura 15 - Gráficos <i>Box-plot</i> dos atributos físico-químicos e sensoriais de acordo com o tempo referentes ao tratamento controle ácido	80
Figura 16 - Gráficos <i>Box-plot</i> dos atributos físico-químicos e sensoriais de acordo com o tempo referentes ao tratamento controle ácido (continuação da Figura 15)	81
Figura 17 - Gráficos <i>Box-plot</i> dos atributos físico-químicos e sensoriais de acordo com o tempo referentes ao tratamento controle ácido (continuação da Figura 15)	82
Figura 18 - Gráficos <i>Box-plot</i> dos atributos físico-químicos e sensoriais de acordo com o tempo referentes ao tratamento amido 1%	82
Figura 19 - Gráficos <i>Box-plot</i> dos atributos físico-químicos e sensoriais de acordo com o tempo referentes ao tratamento amido 1% (continuação da Figura 18)	83
Figura 20 - Gráficos <i>Box-plot</i> dos atributos físico-químicos e sensoriais de acordo com o tempo referentes ao tratamento amido 1% (continuação da Figura 18)	84
Figura 21 - Gráficos <i>Box-plot</i> dos atributos físico-químicos e sensoriais de acordo com o tempo referentes ao tratamento amido 3%	85
Figura 22 - Gráficos <i>Box-plot</i> dos atributos físico-químicos e sensoriais de acordo com o tempo referentes ao tratamento amido 3% (continuação da Figura 21)	86
Figura 23 - Gráficos <i>Box-plot</i> dos atributos físico-químicos e sensoriais de acordo com o tempo referentes ao tratamento amido 3% (continuação da Figura 21)	87
Figura 24 - Gráficos <i>Box-plot</i> dos atributos físico-químicos e sensoriais de acordo com o tempo referentes ao tratamento gelatina 1%	87
Figura 25 - Gráficos <i>Box-plot</i> dos atributos físico-químicos e sensoriais de acordo com o tempo referentes ao tratamento gelatina 1% (continuação da Figura 24)	88
Figura 26 - Gráficos <i>Box-plot</i> dos atributos físico-químicos e sensoriais de acordo com o tempo referentes ao tratamento gelatina 1% (continuação da Figura 24)	89

Figura 27 - Gráficos <i>Box-plot</i> dos atributos físico-químicos e sensoriais de acordo com o tempo referentes ao tratamento gelatina 3%	89
Figura 28 - Gráficos <i>Box-plot</i> dos atributos físico-químicos e sensoriais de acordo com o tempo referentes ao tratamento gelatina 3% (continuação da Figura 27)	90
Figura 29 - Gráficos <i>Box-plot</i> dos atributos físico-químicos e sensoriais de acordo com o tempo referentes ao tratamento gelatina 3% (continuação da Figura 24)	91
Figura 30 - Componentes principais 1 e 3 dos espaço de produtos (escores) (a); e espaço de variáveis (<i>loadings</i>) (b), juntamente com as correlações com o tempo para o tratamento controle	93
Figura 31 - Modelo de regressão linear múltiplo ajustado para prever o tempo de vida útil da berinjela minimamente processada sob o tratamento controle	94
Figura 32 - Envelope simulado para diagnóstico da qualidade do modelo ajustado para a predição de tempo de vida útil da berinjela minimamente processada sem adição de conservantes	95
Figura 33 - Componentes principais 1 e 2 dos espaço de produtos (escores) (a); e espaço de variáveis (<i>loadings</i>) (b), juntamente com as correlações com o tempo para o tratamento controle ácido	96
Figura 34 - Modelo de regressão linear múltiplo ajustado para prever o tempo de vida útil da berinjela minimamente processada sob o tratamento controle ácido	97
Figura 35 - Envelope simulado para diagnóstico da qualidade do modelo ajustado para a predição de tempo de vida útil da berinjela minimamente processada tratada com ácido	98
Figura 36 - Componentes principais 1 e 2 dos espaço de produtos (escores) (a); e espaço de variáveis (<i>loadings</i>) (b), juntamente com as correlações com o tempo para o tratamento amido 1%	99
Figura 37 - Modelo de regressão linear múltiplo ajustado para prever o tempo de vida útil da berinjela minimamente processada sob o tratamento amido 1%	100

Figura 38 - Envelope simulado para diagnóstico da qualidade do modelo ajustado para a predição de tempo de vida útil da berinjela minimamente processada tratada com amido 1%	101
Figura 39 - Componentes principais 1 e 3 dos espaço de produtos (escores) (a); e espaço de variáveis (<i>loadings</i>) (b), juntamente com as correlações com o tempo para o tratamento amido 3%	102
Figura 40 - Modelo de regressão linear múltiplo ajustado para predizer o tempo de vida útil da berinjela minimamente processada sob o tratamento amido 3%	103
Figura 41 - Envelope simulado para diagnóstico da qualidade do modelo ajustado para a predição de tempo de vida útil da berinjela minimamente processada tratada com amido 3%.	104
Figura 42 - Componentes principais 1 e 2 dos espaço de produtos (escores) (a); e espaço de variáveis (<i>loadings</i>) (b), juntamente com as correlações com o tempo para o tratamento gelatina 1%	105
Figura 43 - Modelo de regressão linear múltiplo ajustado para predizer o tempo de vida útil da berinjela minimamente processada sob o tratamento gelatina 1%	106
Figura 44 - Envelope simulado para diagnóstico da qualidade do modelo ajustado para a predição de tempo de vida útil da berinjela minimamente processada tratada com gelatina 1%	107
Figura 45 - Componentes principais 1 e 3 dos espaço de produtos (escores) (a); e espaço de variáveis (<i>loadings</i>) (b), juntamente com as correlações com o tempo para o tratamento gelatina 3%	108
Figura 46 - Modelo de regressão linear múltiplo ajustado para predizer o tempo de vida útil da berinjela minimamente processada tratada com gelatina 3% .	109
Figura 47 - Envelope simulado para diagnóstico da qualidade do modelo ajustado para a predição de tempo de vida útil da berinjela minimamente processada tratada com amido 3%.	110
Figura 48 - Histogramas referentes as frequências das diferenças absolutas obtidas pelo bootstrap	112

Figura 49 - Histogramas referentes as frequências das diferenças absolutas obtidas pelo bootstrap (continuação da Figura 48)	113
Figura 50 - Histogramas referentes as frequências das diferenças absolutas obtidas pelo bootstrap (continuação da Figura 48)	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Medidas descritivas dos atributos físico-químicos e sensoriais das berinjelas utilizados para aplicação do método <i>SheNon</i>	37
Tabela 2 - Medidas descritivas dos atributos físico-químicos e sensoriais das berinjelas utilizados para aplicação do método <i>SheNon</i> (continuação da Tabela 1).....	38
Tabela 3 - Coeficiente de correlação de Pearson entre os atributos	41
Tabela 4 - Correlação dos componentes principais e respectivos valores p com o tempo e variabilidade explicada	42
Tabela 5 - Coeficiente de correlação dos atributos com os componentes principais 1 e 5.....	43
Tabela 6 - Análise de variância do modelo ajustado	45
Tabela 7 - Medidas descritivas dos atributos físico-químicos e sensoriais referentes ao tratamento controle.....	70
Tabela 8 - Medidas descritivas dos atributos físico-químicos e sensoriais referentes ao tratamento controle (continuação Tabela 7)	71
Tabela 9 - Medidas descritivas dos atributos físico-químicos e sensoriais referentes ao tratamento controle ácido.....	71
Tabela 10 -Medidas descritivas dos atributos físico-químicos e sensoriais referentes ao tratamento controle ácido (continuação Tabela 9)	72
Tabela 11 -Medidas descritivas dos atributos físico-químicos e sensoriais referentes ao tratamento amido 1%	73
Tabela 12 -Medidas descritivas dos atributos físico-químicos e sensoriais referentes ao tratamento amido 1% (continuação da Tabela 11)	74
Tabela 13 -Medidas descritivas dos atributos físico-químicos e sensoriais referentes ao tratamento amido 3%	74
Tabela 14 -Medidas descritivas dos atributos físico-químicos e sensoriais referentes ao tratamento amido 3% (continuação da Tabela 13)	75
Tabela 15 -Medidas descritivas dos atributos físico-químicos e sensoriais referentes ao tratamento gelatina 1%	75
Tabela 16 -Medidas descritivas dos atributos físico-químicos e sensoriais referentes ao tratamento gelatina 1% (continuação da Tabela 15)	76

Tabela 17 -Medidas descritivas dos atributos físico-químicos e sensoriais referentes ao tratamento gelatina 3%	76
Tabela 18 -Medidas descritivas dos atributos físico-químicos e sensoriais referentes ao tratamento gelatina 3% (continuação da Tabela 17)	77
Tabela 19 -Coeficiente de correlação dos componentes principais, significância das correlações e variabilidade explicada, para o tratamento controle.....	92
Tabela 20 -Coeficiente de correlação dos atributos com os componentes principais 1 e 3, para o tratamento controle.....	94
Tabela 21 -Coeficiente de correlação dos componentes principais, significância das correlações e variabilidade explicada, tratamento controle ácido.....	95
Tabela 22 -Coeficiente de correlação dos atributos com os componentes principais 1 e 2, para o tratamento controle ácido.....	97
Tabela 23 -Coeficiente de correlação dos componentes principais e variabilidade ex- plicada, tratamento amido 1%.....	98
Tabela 24 -Coeficiente de correlação dos atributos com os componentes principais 1 e 2, para o tratamento com amido 1%.....	99
Tabela 25 -Coeficiente de correlação dos componentes principais e variabilidade ex- plicada, tratamento amido 3%.....	102
Tabela 26 -Coeficiente de correlação dos atributos com os componentes principais 1 e 3, para o tratamento com amido 3%.....	103
Tabela 27 -Coeficiente de correlação dos componentes principais e variabilidade ex- plicada, tratamento gelatina 1%.....	105
Tabela 28 -Coeficiente de correlação dos atributos com os componentes principais 1 e 2, para o tratamento gelatina 1%.....	106
Tabela 29 -Coeficiente de correlação dos componentes principais e variabilidade ex- plicada, tratamento gelatina 3%.....	107
Tabela 30 -Coeficiente de correlação dos atributos com os componentes principais 1 e 3, para o tratamento gelatina 3%.....	109
Tabela 31 -Tempos de vida de útil predito para a berinjela minimamente process- sada de acordo com o tratamento recebido e seus respectivos intervalos de predições.....	110
Tabela 32 -Contratastes para realização do teste de Bootstrap	111

1 INTRODUÇÃO

O conceito de segurança alimentar se instaurou a partir da segunda guerra mundial, levando em consideração os aspectos de qualidade, quantidade e regularidade de acesso aos alimentos. Afirma-se que segurança alimentar e nutricional consiste em proporcionar ao indivíduo o alimento de forma segura (livre de contaminações) e que o mesmo possa ter acesso com a quantidade e regularidade necessária (BELIK, 2003).

Um dos aspectos importantes que garantem a segurança alimentar é a determinação correta do prazo de validade ou tempo de vida útil, isto é, definir o período de tempo durante qual o alimento permanece seguro e adequado para consumo, uma vez que este tenha sido armazenado de acordo com as condições de armazenamento indicadas.

A determinação do tempo de vida útil estando correta, o alimento permanece seguro para o consumo, isto é, não causa danos à saúde do consumidor pelo crescimento de bactérias patogênicas, ou a produção de toxinas bacterianas e fúngicas no alimento durante o armazenamento; não perde suas propriedades sensoriais e não perde quantidades significativas dos nutrientes descritos no rótulo (GUIDANCE DOCUMENT, 2014).

O tempo de vida útil do alimento é definido como o período de tempo, a partir da data de fabricação, no qual o produto manterá suas características de qualidade dentro dos padrões aceitáveis. A análise do tempo de vida útil pode ser definida como um protocolo de pesquisa que tem por objetivo reunir evidências de que o produto de fato atende às especificações legais e de mercado até o momento de seu uso pelos consumidores (STEELE, 2004). Deste modo, ao iniciar um estudo de tempo de vida útil, os pesquisadores devem determinar quais são os atributos/parâmetros que definem a qualidade do produto, bem como seus níveis máximos ou mínimos aceitáveis.

Nos últimos anos diversos estudos vêm sendo desenvolvidos em busca de definir a melhor forma para determinar o tempo de vida útil de um alimento. Ragnarsson e Labuza (1977) e Presa-Owens e Lopez-Sabater (1995) apresentaram estudos para determinar o tempo de vida útil em processos acelerados e em contexto univariado. Pedro e Ferreira (2006) e Rahman (2009) trabalharam com estudos acelerados e no contexto multivariado.

Para alimentos que apresentam um tempo de deterioração longo é realizado um processo de aceleração. Segundo Hough, Garitta e Gómez (2006) essa aceleração consiste na diminuição do período de tempo por meio do aumento da taxa de deterioração. Isto usualmente é realizado com o aumento da temperatura e umidade de estocagem. Com os

resultados provenientes do processo acelerado prediz-se, então, o tempo de vida útil do produto em condições normais de estocagem.

Por sua vez, para alimentos que apresentam um curto período para deteriorar-se, as empresas ou fabricantes realizam os chamados testes de vida de prateleira, por meio do monitoramento direto. O método de monitoramento direto tem por objetivo verificar se o alimento permanece com suas qualidades aceitáveis e consiste em expor amostras dos alimentos a um ambiente com temperatura e umidade controladas e submetê-las, em diferentes instantes, à análises microbiológicas, físico-químicas e sensoriais (NICOLI, 2012).

Considerando-se que a segurança de um alimento depende dos seus atributos microbiológicos, físicos-químicos e que as propriedades sensoriais são de interesse devido a aceitação do produto pelos consumidores, seria relevante que a determinação do tempo de vida útil considerasse, simultaneamente, todos estes atributos.

Assim sendo, faz-se necessário a utilização de uma técnica multivariada, a qual consiga explicar este contexto. Esse tipo de técnica consiste em um conjunto de métodos estatísticos utilizados em situações nas quais diversas variáveis de diferentes naturezas são medidas, simultaneamente, em cada elemento amostral, sendo essas variáveis correlacionadas entre si (MINGOTI, 2005; LYRA et al., 2010).

Dentro da Estatística Multivariada tem-se a análise de componentes principais (ACP), introduzida por Pearson (1901) e fundamentada por Hotteling (1933). A ACP objetiva explicar a estrutura de variância de um vetor aleatório, composto por p variáveis aleatórias, por meio da construção de combinações lineares das variáveis originais. Essas combinações lineares, em número igual ao número de variáveis originais, são também denominadas por componentes principais e são não correlacionados entre si (BOCK, 1975; JOHNSON e WICHERN, 1988).

Por sua vez a regressão linear múltipla também utiliza várias variáveis independentes, mas com a finalidade de encontrar a relação funcional entre elas e uma ou mais variáveis respostas. Isto é, a análise de regressão linear consiste na obtenção de uma equação que tenta explicar a variação da variável dependente em função das independentes (DRAPER e SMITH 1981).

Quando a variável resposta é o tempo de vida útil de um alimento é possível encontrar a forma com que as variáveis independentes do processo atuam sobre ele. Considerando

a importância da determinação do tempo de vida útil de um alimento e observando a natureza multivariada dos atributos relacionados com a sua segurança, este estudo propõe associar a ACP e a regressão linear múltipla para a determinação da vida útil, em um contexto de estudos não acelerados (alimentos com curto tempo de vida útil).

Para tanto, tem-se como objetivos específicos: (i) propor um método estatístico multivariado para prever o tempo de vida útil em estudos não acelerados; (ii) avaliar a estabilidade e sensibilidade do método proposto; (iii) generalizá-lo para dados provenientes de um contexto experimental; (iv) propor um teste de comparações múltiplas de suas previsões.

Referências

BELIK, W. Perspectivas para Segurança Alimentar e Nutricional no Brasil. **Saúde e Sociedade**. São Paulo, v. 12, n. 1, p. 12-20, 2003.

BOCK, R. **Multivariate statistical methods in behavioral research**. McGraw Hill, 1975. 662p.

DRAPER, N.; SMITH, H. **Applied Regression Analysis**. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 1981. 709 p.

GUIDANCE DOCUMENT: How to Determine the Shelf Life of Food. 2014. 34p. Disponível em <http://www.foodsafety.govt.nz/elibrary/industry/determine-shelf-life-of-food/how-to-determine-the-shelf-life-of-food-revision.pdf>. Acesso em: 03 maio 2015.

JOHONSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 1988. 800p.

HOTTELING, H. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. **Journal of Educational Psychology**. Arlington, v. 24, p. 417-441, 498-520, 1933.

HOUGH, G.; GARITTA, L.; GÓMEZ, G. Sensory Shelf Life Predictions by Survival Analysis Accelerated Storage Models. **Food Quality and Preference**. Barking, v.17, p. 468-473, 2006.

LYRA, W. S.; SILVA, E. C.; ARAUJO, M. C. U.; FRAGOSO, W. D.; VERAS, G. Classificação periódica: um exemplo didático para ensinar análise de componentes principais. **Química Nova**. São Paulo, v. 33, p. 1594-1597, 2010.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de Métodos de Estatística Multivariada**: uma abordagem aplicada. Belo Horizonte: UFMG, 2005. 297p.

NICOLI, M. C. **Shelf Life Assessment of Food**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2006. 316p.

PEARSON, K. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. **Philosophical Magazine**. Londres, v. 2, n. 6, p. 559-572, 1901.

PEDRO, A. M. K.; FERREIRA, M. M. C. Multivariate accelerated shelf-life testing: a novel approach for determining the shelf-life of foods. **Journal Of Chemometrics**. Chichester, v. 20, p. 76-83, 2006.

PRESA-OWENS, S.; LOPEZ-SABATER, C.; RIVERO-URGELL, M. Shelf-Life Prediction of an Infant Formula Using an Accelerated Stability Test (Rancimat). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. Easton, v. 43, n. 11, p. 2879-2882, 1995.

RAGNARSSON, J. O.; LABUZA, T.P. Accelerated shelf-life testing for oxidative rancidity in foods? A review, **Food Chemistry**. Londres, v. 2, n. 4, p. 291-308, 1977.

STEELE, R. **Understanding and Measuring the Shelf-Life of Food**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2004. 448p.

RAHMAN, M. S. Food stability beyond water activity and glass transition: Macro-micro region concept in the state diagram. **International Journal of Food Properties**. Nova Iorque, v. 12, n. 4, p. 726-740, 2009.

2 PREDIÇÃO DO TEMPO DE VIDA ÚTIL PARA ALIMENTOS EM ESTUDOS NÃO ACELERADOS (*SHENON*) APLICADO EM BERINJELAS MINIMAMENTE PROCESSADAS

Resumo

Este estudo objetiva propor um método multivariado para determinação do tempo de vida útil de alimentos em estudos não acelerados. O método permite incorporar variáveis de natureza microbiológica, físico-química e sensorial. A ideia do método é manter os dois componentes principais mais correlacionados com o tempo (não necessariamente os primeiros) e regredir a pontuação de uma amostra limítrofe para esses componentes, predizendo o seu tempo de vida útil. Neste estudo, o método foi aplicado em dados de berinjela minimamente processada, resultando em uma predição de 9,6 dias de vida útil.

Palavras-chave: Componentes principais; Regressão linear; Predição; Tempo de vida útil

Abstract

The objective of this study was to develop a multivariate method capable of estimating the shel-life of foods in non-accelerated studies. The method allows incorporating variables of different natures, such as microbiological, physicochemical and sensorial. The main idea of this method is to keep the two most time-correlated principal components (not necessarily the first two ones) and then to produce a regression curve between these components and the scoring of a bord line sample, therefore predicting the shelf-life. In this study, said method was applied to minimally-processed eggplant data, which resulted in a prediction of 9.6 days for its shelf-life.

Keywords: Principal components; Linear regression; Predict; Shelf-life

2.1 Introdução

O tempo de vida útil do alimento é a garantia que este esteja adequado para o consumo, se ingerido dentro do período estipulado. De acordo com Agência Nacional de Vigilância Sanitária, ANVISA (2001), a determinação do prazo de validade é de responsabilidade do fabricante, fracionadores ou embaladores, os quais devem realizar estudos de estabilidade necessários para determinar até quando o produto mantém suas características de segurança, sensoriais, físico-químicas, nutricionais e funcionais.

Para determinar o tempo de vida útil dos alimentos, as empresas fabricantes fazem testes chamados de vida útil, em que se prediz o tempo de vida útil do alimento com base em suas propriedades microbiológicas, físico-químicas e sensoriais.

Os testes de vida útil mensuram o tempo que se passa desde a produção e embalagem do produto até o ponto em que ele se torna inaceitável para o consumo, sendo, então, relacionado com a qualidade total do alimento e diretamente ligado ao planejamento da produção, às especificações dos ingredientes, ao processo de manipulação e à estocagem. Estes testes têm como foco avaliar atributos microbiológicos e físico-químicos, devido à preocupação com segurança alimentar, sendo o método mais utilizado para a determinação da vida útil é o monitoramento direto ICMSF (1997).

Tal método consiste em requerer amostras dos alimentos, as quais devem ser tomadas em cada etapa do desenvolvimento, colocando-as em um ambiente com temperatura e umidade controladas, e realizar, a pequenos intervalos de tempo, análises microbiológicas, físico-químicas e sensoriais que apontem se o alimento permanece com suas qualidades aceitáveis.

Quando se trata de alimentos que se deterioram rapidamente, o monitoramento direto, além de viável, é amplamente utilizado na determinação de prazo de validade. Porém, quando o alimento apresenta um tempo de deterioração longo, este método torna-se inviável devido ao longo período necessário para o monitoramento (NICOLI, 2006). Neste sentido, observando-se a inviabilidade do monitoramento direto para produtos que apresentam um longo tempo de vida útil, faz-se necessária a realização de um processo de aceleração.

Segundo Hough, Garitta e Gómez (2006), essa aceleração consiste na diminuição do período de tempo por meio do aumento da taxa de deterioração. Isto, usualmente, é realizado com o aumento da temperatura de estocagem. Com os resultados provenientes

do processo acelerado, prediz-se, então, o tempo de vida útil do produto em condições normais de estocagem.

Dessa forma, diversos estudos têm sido realizados com o objetivo de determinar o prazo de validade dos alimentos. Para alimentos com rápida deterioração, as metodologias utilizadas para determinar seu tempo de vida útil são: *cut-off point* (COP), proposta por Gacula (1975); regressão, baseada em ponto de corte introduzida por Fritsch, Hofland e Vickers (1997) e a análise de sobrevivência, que determina o tempo até a deterioração do alimento (GAMBARO et al., 2004; HOUGH, GARITTA e GÓMEZ, 2006; ARANEDA, HOUGH e PENNA, 2008; CRUZ et al., 2010; JACOBO-VELÁZQUEZ, RAMOS-PARRA e HERNANDEZ-BRENES, 2010).

Entretanto, para alimentos com longo período de deterioração, os métodos utilizados são: *Accelerated Shelf-Life Test* (ALST), discutido por Ragnarsson e Labuza (1977); *Rancimat*, apresentado por Presa-Owens e Lopez-Sabater (1995) e *Multivariate Accelerated Shelf-Life Test* (MASLT), definido por Pedro e Ferreira (2006).

No caso de alimentos que apresentam um curto período de tempo para a deterioração, o estudo para determinar o prazo de validade não necessita ser acelerado, sendo assim viável a utilização do método de monitoramento direto não acelerado. Entretanto, seria de interesse a utilização de um método estatístico para avaliar a deterioração do alimento ao longo do tempo, determinando, deste modo, um tempo de vida útil com maior confiabilidade. Uma vez que este método poderia quantificar o erro associado a este prazo de validade predito.

Assim, considerando a importância da determinação do tempo de vida útil do alimento, este estudo tem por objetivo propor um método estatístico multivariado para prever o tempo de vida útil para estudos não acelerados, o *SheNon* (*Shelf-life prediction for Non-accelerated Studies*) em berinjelas minimamente processadas sem tratamento.

2.2 Método proposto

Para desenvolver um método capaz de prever o tempo de vida útil do alimento, é necessário verificar quais são as propriedades exigidas para que seja considerado apropriado para o consumo. De acordo com a ANVISA (2001), CODEX (2011) e MAPA (2011), verifica-se que o tempo de vida útil do alimento está intimamente relacionado com a sua segurança.

A segurança do alimento, por sua vez, é definida por Pinstруп-Andersen (2009) como o conjunto de normas de produção, transporte e armazenamento de alimentos visando a determinadas características microbiológicas, físico-químicas, sensoriais e funcionais, segundo as quais os alimentos seriam adequados ao consumo.

Portanto, na determinação do tempo de vida útil dos alimentos, os atributos microbiológicos são essenciais, uma vez que estes estão relacionados com o desenvolvimento de microrganismos (bactérias, fungos, protozoários e vírus) capazes de contaminar os alimentos, causando intoxicação e mudanças sensoriais (REIJ e VAN-SCHOTHORST, 2000).

No que diz respeito à análise físico-química, afirma-se que o objetivo é o de avaliar se as amostras estão de acordo com um padrão de qualidade, com a rotulagem nutricional, pesquisar fraudes, adulterações, alterações físico-químicas e sensoriais nos alimentos.

As propriedades acima descritas são imprescindíveis para a determinação do tempo de vida útil do alimento, enquanto os atributos sensoriais e funcionais dos alimentos têm a sua importância definida de acordo com o refinamento da indústria com relação à qualidade, em outras palavras, relaciona-se com o diferencial do alimento no mercado.

Logo, considerando a importância de todos os atributos, verifica-se a necessidade de todos estes participarem do processo de determinação do tempo de vida útil do alimento, o qual apresentaria, deste modo, segurança e boa aceitação no mercado. Portanto, afigura-se que a determinação do tempo de vida útil do alimento apresenta uma natureza intrinsecamente multivariada.

O desenvolvimento do método *SheNon* para determinar uma predição para o tempo de deterioração de alimentos em estudos não acelerados baseia-se na teoria de estatística multivariada, em específico, na análise de componentes principais, análise de regressão linear e no método *cut-off point*.

No que concerne à análise de componentes principais (ACP), é definida como uma transformação linear ortogonal que cria um novo sistema de coordenadas onde os dados originais serão projetados. Cada eixo do novo sistema de coordenadas é construído por meio dos componentes principais. Como o novo sistema que descreve os dados, em geral, apresenta menor dimensionalidade (isto é, um número menor de eixos) que o sistema original, a ACP constitui ferramenta largamente empregada para compressão de dados (JOHONSON e WICHERN, 1988). As informações referentes aos padrões de degradação do alimento são extraídas da ACP, em que os escores de cada componente são utilizados

para avaliar o tempo de degradação, enquanto os *loadings* para interpretar quais atributos têm influência significativa na degradação do produto ao longo do tempo.

Quanto à análise de regressão linear, consiste na realização de uma análise estatística com o objetivo de verificar a existência de uma relação funcional entre uma variável dependente e uma ou mais variáveis independentes. Em outras palavras, consiste na obtenção de uma equação que tenta explicar a variação da variável dependente em função das independentes (DRAPER e SMITH, 1981).

Já com relação ao método *cut-off point* (COP), proposto por Gacula (1975), tem como ideia central estabelecer uma quantidade máxima ou mínima permitida para o atributo de interesse, sendo essa quantidade (valor) arbitrada da literatura, por meio de estudos anteriores, ou de um especialista com conhecimento suficiente na área.

No tocante ao algoritmo para a construção do método *SheNon*, proposto para determinar o tempo de vida útil de um alimento em estudos não acelerados, foi construído de acordo com os seguintes passos:

1. Utilizando a matriz de dados $\mathbf{X}_{n \times p}$, sendo n o tamanho da amostra e p o número de variáveis envolvidas no estudo, obter os autovalores (λ_i) e seus respectivos autovetores ($\mathbf{e}_i$), $i = 1, \dots, p$, por meio da decomposição espectral na matriz de autocorrelação $\mathbf{R}_{p \times p}$;
2. com os autovetores, obter os p componentes principais, $\mathbf{CP}_i = \mathbf{e}_i' \mathbf{Z}$, sendo os valores numéricos dos componentes principais denominados escores, $\mathbf{S}_{n \times p}$, e $\mathbf{Z}$ a matriz de dados com as variáveis X_i 's padronizadas;
3. dentre os p componentes principais, selecionar os dois componentes que apresentam maior correlação com o tempo e variância explicada superior a 5%;
4. obter a matriz de *loadings*, $\mathbf{L}_{p \times p} = \sqrt{\lambda_i} \mathbf{e}_i$;
5. ajustar um modelo de regressão do tempo em função dos escores dos dois componentes principais selecionados;
6. arbitrar um vetor $\mathbf{x}_{lim(1 \times p)}$ com as características de uma amostra limítrofe;
7. calcular os escores limítrofes, $\mathbf{s}'_{lim} = \mathbf{x}'_{lim} \mathbf{L}_{p \times k}$;
8. com o vetor $\mathbf{s}_{lim}$, prever o tempo de validade do alimento por meio do modelo de regressão ajustado;
9. construir os gráficos de escores e *loadings* para os componentes selecionados e relacionar seu comportamento com a degradação do alimento ao longo do tempo.

Isto posto, na Figura 1, é apresentado um esquema no qual é resumido o algoritmo descrito. No passo 3, deve-se tomar cuidado com a ordem de grandeza dos componentes principais escolhidos, uma vez que, se este for próximo de zero, causará problemas na estimação dos parâmetros do modelo de regressão; ainda neste instante, tem-se que as correlações entre os componentes principais e o tempo podem ser verificados por meio do coeficiente de correlação de Pearson ou mesmo o gráfico de dispersão. As características da amostra limítrofe, etapa 6, são obtidas considerando quantidade máxima ou mínima permitida para cada atributo no alimento, de acordo com a metodologia COP.

Figura 1 – Esquema do algoritmo para a construção do método *SheNon* proposto neste estudo

2.3 Experimento

As berinjelas (*Solanum melongena*) utilizadas no experimento foram adquiridas no mercado local do município de Alfenas-MG e, em seguida, foram transportadas de forma adequada para o laboratório da Universidade Federal de Alfenas.

Além disso, os frutos foram selecionados quanto à ausência de injúrias, uniformidade, tamanho, sendo caracterizados por frutos médios, verde escuro e púrpura variando para preto e formato oval, sendo imediatamente processados, embalados e mantidos à temperatura de 5°C em estufas do tipo BOD (demanda bioquímica de oxigênio).

No que diz respeito ao processamento mínimo dos frutos, iniciou-se com a higienização em água potável com detergente neutro (5 mL/litro), com auxílio de uma esponja macia para retirada das sujidades superficiais, seguida de enxágue em água potável. Posteriormente, as amostras foram imersas em solução de hipoclorito de sódio 200 $mg.L^{-1}$ durante 15 minutos, com posterior enxágue em água potável.

Após a higienização, os frutos foram fatiados, com faca de aço inoxidável previamente higienizada, em rodela (7mm), Figura 2. As amostras, imediatamente após serem cortadas, foram submetidas à imersão em solução ácida elaborada com os ácidos ascórbico e cítrico (0,5 grama de ácido ascórbico + 0,5 grama de ácido cítrico para 1 Litro de água) durante 1 minuto, com exceção das amostras controle que foram imersas em água potável. Neste momento, foram obtidas também as amostras de controle ácido, isto é, aquelas que foram imersas somente em solução de ácidos.

Figura 2 – Berinjelas fatiadas em rodela para o experimento

O restante das amostras submersas na solução ácida foram submetidas aos tratamen-

tos de soluções filmogênicas de amido (fécula de mandioca) a 1% e 3% (peso/volume) e à solução de gelatina (em pó sem sabor) a 1% e 3% (peso/volume). Todas as amostras foram centrifugadas e, em seguida, dispostas numa superfície gradeada em aço inoxidável sob ventilação forçada para eliminação do excesso da solução de revestimento e secagem.

Posterior à retirada do excesso da solução e secagem, as amostras foram acondicionadas em embalagens de polietileno (PET) com tampa nas dimensões de 15 x 10 x 8 cm (previamente sanificadas e secas), sendo 6 fatias por embalagem, totalizando, em média, 125 gramas. As amostras foram armazenadas na estufa do tipo BOD a 5°C por um período de 15 dias e analisadas a cada 3 dias (0, 3, 6, 9, 12 e 15 dias), em três repetições.

Durante as avaliações, realizadas a cada 3 dias, avaliaram-se os atributos aparência (Ap), aroma (Ar), impressão global (IG), intenção de compra (IC), cor, os componentes de cor L, a*, b*, ângulo Hue (H), cromaticidade (Cr), índice de escurecimento (IE), sólidos solúveis (SS), acidez (Ac) e potencial hidrogeniônico (pH). Os atributos físico-químicos foram medidos em três repetições por dia, tendo, ao final do experimento, 18 repetições por tempo e os atributos sensoriais foram avaliados por cinquenta consumidores (aleatórios) de berinjela.

As rotinas para a determinação do prazo de validade utilizando o método *SheNon* foram implementadas no *software* R versão 3.3.1, R Core Team (2016), onde também foram realizadas a ACP e análise de regressão linear.

2.4 Resultados e Discussão

Essa seção apresenta e discute os resultados da análise descritiva e a aplicação do método *SheNon* nas amostras de berinjelas minimamente processadas provenientes da amostra controle. Inicialmente, realizou-se a análise descritiva dos atributos estudados, uma vez que essa análise fornece-nos uma visão geral do comportamento dos atributos obtidos no experimento.

No que concerne à análise descritiva, constituiu-se do cálculo das medidas descritivas médias, desvios-padrão, máximos e mínimos e gráficos de *box-plot* para os atributos estudados em cada tempo. As medidas descritivas são apresentadas nas Tabelas 1 e 2 e os gráficos nas Figuras 3, 4 e 5.

Por meio da Tabela 1 e 2, pode-se observar o que ocorre com cada atributo ao longo do tempo. Nota-se que a luminosidade (L) apresentou um declínio o que representa escureci-

mento da berinjela. Os atributos a^* e b^* tiveram um aumento acarretando uma queda na coloração esverdeada do fruto e a queda no ângulo Hue também levou a perda da coloração amarela. O pH e acidez mantiveram-se constantes. A cromaticidade, índice de escurecimento e sólidos solúveis aumentaram com o decorrer do tempo o que mostra a perda de cor, escurecimento e murchamento da berinjela. Os atributos sensoriais aparência, cor, impressão global, intenção de compra e aroma apresentaram um decréscimo indicando não aceitação do alimento.

Com relação à Figura 3, 4 e 5, nota-se a presença de variabilidade em todos os atributos dentro e entre os tempos. Observa-se, também, que os atributos formam dois “grupos”, sendo o primeiro composto pelos tempos 0, 3 e 6 e o outro, pelos tempos 9, 12 e 15. No tempo 15, os atributos sensoriais tiveram suas notas iguais a 1, pois a berinjela não apresentava um bom aspecto para o consumo, impossibilitando a sua representação por meio do *box-plot*.

Tabela 1 – Medidas descritivas dos atributos físico-químicos e sensoriais das berinjelas utilizados para aplicação do método *SheNon*

Atributos	Medidas descritivas	Tempo (dias)					
		0	3	6	9	12	15
L	Média	77,50	76,83	78,03	67,73	65,93	68,97
	Desvio padrão	0,79	4,71	2,37	1,33	3,25	9,25
	Mínimo	76,60	71,40	75,30	66,20	63,40	58,30
	Máximo	78,10	79,70	79,50	68,50	69,60	74,70
a^*	Média	-1,20	1,43	0,62	6,80	6,40	4,80
	Desvio padrão	0,56	1,75	0,68	0,56	1,04	2,86
	Mínimo	-1,70	-0,30	-0,10	6,20	5,20	3,10
	Máximo	-0,60	3,20	1,25	7,30	7,00	8,10
b^*	Média	19,90	19,28	19,73	22,70	21,20	22,13
	Desvio padrão	1,23	1,15	0,33	0,30	1,47	1,22
	Mínimo	19,00	17,95	19,35	22,40	20,30	20,80
	Máximo	21,30	19,98	19,95	23,00	22,90	23,20
SS	Média	2,83	3,33	3,17	4,33	4,17	4,17
	Desvio padrão	0,76	0,58	0,76	0,29	1,26	0,29
	Mínimo	2,00	3,00	2,50	4,00	3,00	4,00
	Máximo	3,50	4,00	4,00	4,50	5,50	4,50
Ac	Média	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
	Desvio padrão	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	Mínimo	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	Máximo	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01

Tabela 2 – Medidas descritivas dos atributos físico-químicos e sensoriais das berinjelas utilizados para aplicação do método *SheNon* (continuação da Tabela 1)

Atributos	Medidas descritivas	Tempo (dias)					
		0	3	6	9	12	15
pH	Média	5,30	5,42	5,37	5,51	5,01	5,23
	Desvio padrão	0,22	0,09	0,13	0,13	0,41	0,21
	Mínimo	5,15	5,36	5,23	5,39	4,53	4,99
	Máximo	5,55	5,52	5,48	5,65	5,25	5,40
H	Média	93,42	85,77	88,20	73,32	73,23	78,05
	Desvio padrão	1,46	5,02	2,01	1,49	2,37	6,32
	Mínimo	91,78	80,86	86,30	71,95	70,97	70,75
	Máximo	94,57	90,90	90,30	74,91	75,70	81,87
IE	Média	27,54	38,32	28,82	37,89	43,73	48,75
	Desvio padrão	1,65	15,78	6,42	3,49	4,13	10,17
	Mínimo	25,82	27,45	23,74	34,82	39,29	38,89
	Máximo	29,13	56,43	36,04	41,68	47,47	59,20
Cr	Média	19,94	23,81	19,59	22,77	22,83	25,67
	Desvio padrão	1,25	6,45	3,61	1,23	1,23	4,39
	Mínimo	19,04	18,45	16,24	21,61	21,73	22,55
	Máximo	21,37	30,98	23,41	24,05	24,16	30,69
Ap	Média	6,74	5,91	6,80	3,16	2,82	6,74
	Desvio padrão	2,20	2,05	1,76	1,93	1,91	2,20
	Mínimo	1,00	1,00	3,00	1,00	1,00	1,00
	Máximo	10,01	9,00	10,01	9,00	8,00	10,01
Cor	Média	6,90	5,86	6,90	3,26	2,84	6,90
	Desvio padrão	1,83	1,95	1,78	1,87	1,77	1,83
	Mínimo	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00
	Máximo	9,00	8,00	10,01	9,00	7,00	9,00
Ar	Média	6,66	6,02	6,39	4,60	4,20	6,66
	Desvio padrão	1,93	2,20	2,10	2,19	2,22	1,93
	Mínimo	1,00	1,00	0,01	1,00	1,00	1,00
	Máximo	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00
IG	Média	6,64	5,81	6,51	3,42	3,38	6,64
	Desvio padrão	2,05	2,15	1,85	1,94	1,98	2,05
	Mínimo	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00
	Máximo	9,00	8,00	9,00	9,00	8,00	9,00
IC	Média	3,46	3,14	3,35	1,96	1,78	3,46
	Desvio padrão	1,51	1,26	1,11	1,14	0,97	1,51
	Mínimo	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Máximo	9,00	5,00	5,00	5,00	4,00	9,00

Figura 3 – Gráficos *Box-plot* dos atributos físico-químicos e sensoriais das berinjelas utilizados para aplicação do método *SheNon*

Figura 4 – Gráficos *Box-plot* dos atributos físico-químicos e sensoriais das berinjelas utilizados para aplicação do método *SheNon* (continuação da Figura 3)

Figura 5 – Gráficos *Box-plot* dos atributos físico-químicos e sensoriais das berinjelas utilizados para aplicação do método *SheNon* (continuação da Figura 3)

Para medir a associação entre os atributos em estudo, obteve-se o coeficiente de correlação de Pearson, os quais são expostos na Tabela 3. Nota-se que as correlações entre os atributos são altas, em especial para os atributos a^* e H, Ap e IC, Ap e cor.

Tabela 3 – Coeficiente de correlação de Pearson entre os atributos

Atributos	L	a^*	b^*	SS	Ac	pH	H	IE	Cr	Ap	Cor	Ar	IG
a^*	-0,96												
b^*	-0,86	0,85											
SS	-0,95	0,99	0,89										
Ac	0,47	-0,43	-0,70	-0,41									
pH	0,42	-0,23	-0,05	-0,21	-0,06								
H	0,95	-0,99	-0,82	-0,98	0,39	0,26							
IE	-0,77	0,76	0,61	0,82	0,10	-0,42	-0,77						
Cr	-0,59	0,61	0,51	0,69	0,26	-0,15	-0,62	0,94					
Ap	0,90	-0,85	-0,86	-0,91	0,29	0,37	0,84	-0,92	-0,81				
Cor	0,89	-0,85	-0,84	-0,91	0,26	0,37	0,84	-0,93	-0,82	0,99			
Ar	0,71	-0,66	-0,74	-0,76	0,15	0,35	0,65	-0,89	-0,82	0,95	0,95		
IG	0,85	-0,81	-0,84	-0,88	0,26	0,32	0,80	-0,92	-0,82	0,99	0,99	0,97	
IC	0,89	-0,85	-0,86	-0,91	0,30	0,38	0,84	-0,91	-0,79	0,99	0,99	0,95	0,99

Ao se realizar a análise de componentes principais, foram obtidos 6 componentes. Uma vez que, a matriz de dados deste estudo é composta por 14 variáveis e seis observações (número de tempos em que a berinjela foi acompanhada) sendo o número de componentes é o mínimo entre o número de observações e o número de variáveis não nulas.

Com os resultados obtidos da análise de componentes principais, obteve-se a variabilidade explicada por cada componente e foram calculadas as correlações, e suas significâncias (entre parenteses), entre os componentes e os tempos. Estes resultados são apresentados na Tabela 4.

Assim, verifica-se que os componentes CP1 e CP5 (destacados) apresentam maior correlação com a variável tempo, sendo então selecionados para compor o modelo de

regressão a ser ajustado, conforme descreve o método *SheNon*. Estes dois componentes explicam 76,05% da variância nos dados originais, sendo que o CP1 é responsável por 75,69% e o CP5, por 0,36%.

Tabela 4 – Correlação dos componentes principais e respectivos valores p com o tempo e variabilidade explicada

Componentes	Correlação(%)	Variabilidade explicada(%)
CP1	92,38 (0,01)	75,69
CP2	-4,34 (0,93)	12,78
CP3	12,60 (0,81)	6,90
CP4	-8,67 (0,87)	4,26
CP5	34,82 (0,49)	0,36
CP6	33,47 (0,51)	0,01

Na Figura 6 (a), por meio dos tempos projetados, verifica-se o envelhecimento da berinjela minimamente processada ao longo do CP1, uma vez que esta apresenta maior correlação com tempo. A Figura 6 (b) mostra-nos que os atributos sensoriais aroma, aparência, cor, IG, IC, L, H, pH e acidez estão relacionados com o produto fresco e a^* , b^* , SS, IE e cromaticidade estão relacionados com o envelhecimento do produto. Esse fato também pode ser observado na Tabela 5, que apresenta a correlação dos atributos com os CP1 e CP5.

Figura 6 – Componentes principais 1 e 5 dos espaço de produtos (escores) (a); e espaço de variáveis (*loadings*) (b), juntamente com as correlações com o tempo

Na Tabela 5, nota-se que os valores positivos de correlação dos componentes (CP1 e CP5) com os atributos foram obtidos para os atributos em que os valores numéricos aumentam no tempo, enquanto que o contrário foi verificado para aqueles cujos valores

decrecem com o tempo.

Tabela 5 – Coeficiente de correlação dos atributos com os componentes principais 1 e 5

Componentes	Atributos						
	L	a*	b*	SS	Ac	pH	H
PC1	-0,51	0,84	0,61	0,75	-0,95	-0,82	-0,72
PC5	0,86	0,55	-0,79	0,66	0,33	0,57	-0,69

Componentes	Atributos						
	IE	Cr	Ap	Cor	Ar	IG	IC
PC1	0,99	0,45	-0,96	-0,98	-0,54	-0,95	-0,92
PC5	0,16	-0,89	0,28	0,21	-0,84	-0,32	-0,40

A Figura 7 apresenta os gráficos de escores *versus* tempo para os dois componentes selecionados, juntamente às suas variâncias explicadas. Por meio desta, é possível confirmar a relação entre tempo e os componentes 1 e 5. Porém, verifica-se que o comportamento do CP1 é mais relacionado com o tempo que o CP5.

Figura 7 – Comportamento do primeiro componente principal em função do tempo (a). Comportamento do quinto componente principal em função do tempo (b)

Dessa forma, para predizer o tempo de vida útil da berinjela minimamente processada sem nenhum tipo de tratamento antioxidativo, foi ajustado um modelo de regressão linear considerando os dois componentes principais selecionados (CP1 e CP5). O modelo ajustado e o R^2 são apresentados na Figura 8. Todos os parâmetros do modelo foram significativos, considerando um nível de confiança de 95%.

Figura 8 – Modelo de regressão linear ajustado aos dados de berinjela minimamente processada controle

Após o ajuste, verificou-se a qualidade do modelo de regressão linear ajustado por meio da análise de resíduos, R^2 , teste para significância de parâmetros e análise de variância (Tabela 6). Na Figura 9, é apresentado o gráfico de envelope simulado para o diagnóstico da qualidade do modelo ajustado, no qual é possível notar uma acomodação dos pontos dentro do envelope gerado evidenciando, também, um bom ajuste do modelo.

Figura 9 – Envelope simulado para o diagnóstico da qualidade do modelo ajustado

Tabela 6 – Análise de variância do modelo ajustado

Fontes de variação	Graus de liberdade	SQ*	QM**	Valor p
CP1	1	134,42	134,42	>0,001
CP5	1	19,09	19,09	0,03
Resíduos	3	3,98	1,33	

*SQ:somas de quadrados, QM:quadrados médios

Visto a adequabilidade do modelo, obteve-se um vetor de características da amostra limítrofe, por intermédio de um especialista em tecnologia de alimentos, conforme sugere Gacula (1975). As características da amostra limítrofe foram multiplicadas pela matriz de *loadings*, gerando um vetor de escores. Este vetor foi substituído no modelo de regressão ajustado, resultando em um tempo de vida útil para a berinjela minimamente processada controle de 9,6 dias (± 4), com 95% de confiança.

Uma questão sobre o intervalo de predição refere-se à sua amplitude, o qual pode ser considerado grande, se comparado ao valor predito. Isto pode ser explicado pelo tamanho da amostra e pode ser resolvido se o alimento permitir ser acompanhado por mais tempo, já que o acompanhamento do alimento por um período maior retorna uma amostra maior,

gerando um intervalo de predição mais preciso ou ainda fracionar o tempo para se ter mais amostras. No entanto, quando se trata de alimentos minimamente processados, aumentar o tamanho de amostra é uma questão complicada, uma vez que os alimentos submetidos a algum tipo de processamento apresentam rápida deterioração, como pode ser observado nos estudos citados a seguir.

Rocha e Moraes (2003) avaliaram a degradação da maçã minimamente processada durante dez dias, realizando 4 medições (0, 3, 7 e 10 dias) dos atributos de interesse. Allende et al. (2004) estudaram o tempo de vida útil do espinafre minimamente processado em diferentes condições de armazenamento durante doze dias, realizando medições nos tempos 0, 3, 6, 9 e 12. Pilon et al. (2006) analisaram a deterioração de cenoura e pimentão minimamente processados a cada quatro dias por um período de vinte dias, resultando em cinco tempos avaliados. Arenada, Hough e Penna (2008) desenvolveram um estudo para determinar o tempo de vida útil sensorial do alface. As avaliações foram realizadas nos tempos 1, 5, 8, 11, 13 e 15. Antoniolli et al. (2012) observaram abacaxis minimamente processados por doze dias, avaliando os atributos de interesse a cada dois dias, gerando seis tempos.

Por meio dos estudos citados, constata-se que a observação por um curto período de tempos ocorre quando o estudo de determinação do tempo de vida útil dos alimentos relaciona-se à sua rápida deterioração, justificando o pequeno tamanho amostral desse estudo.

2.5 Conclusão

Por meio dos resultados, constatou-se que o método proposto mostra-se promissor para a predição do prazo de validade em estudos não acelerados que consideram atributos de diversas naturezas (sensoriais, físico-químicos, microbiológicas, etc.).

Em particular, verificou-se que a berinjela minimamente processada controle possui prazo de validade em torno de nove dias.

Referências

ALLENDE, A.; LUO, Y.; MCEVOY, J. L.; ARTES, F.; WANG, C. Y. Microbial and quality changes in minimally processed baby spinach leaves stored under super atmospheric oxygen and modified atmosphere conditions, **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 33, n. 1, p. 51-59, 2004.

ANTONIOLLI, L. R.; BENEDETTI, B. C.; SOUZA FILHO, M. M.; GARRUTI, D. S.; BORGES, M. F. Shelf life of minimally processed pineapples treated with ascorbic and citric acids. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 3, p. 447-453, 2012.

ARANEDA, M.; HOUGH, G.; PENNA, E. W. Applied to estimating sensory shelf life of ready-to-eat lettuce (*lactuca sativa*). **Journal of Sensory Studies**. Westport, v. 23, n. 2, p. 162-170, 2008.

ANVISA-Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos**. Resolução-RDC nº12, de 02/01/01, Diário Oficial da União, Brasília, 10 jan. 2001. Seção I, p. 45-53.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Manual de garantia da qualidade analítica**. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária.-Brasília: MAPA/ACS, 2011. 227p.

CODEX-Comisión del Codex Alimentarius. **Manual de procedimiento**. 20° edición. Organización Mundial de La Salud y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 2011. 231p.

CRUZ, A. G.; WLATER, E. H. M.; CADENA, R. S.; FARIA, J. A. F.; BOLINI, H. M. A.; PINHEIRO, H. P.; SANTANA, A. S. Survival analysis methodology to predict the shelf-life of probiotic flavored yogurt. **Food Research International**. Barking, v.43, p. 1444-1448, 2010.

DRAPER, N.; SMITH, H. **Applied Regression Analysis**. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 1981. 709p.

FRITSCH, C.W.; HOFLAND, C.N.; VICKERS, Z.M.J. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 62, n. 2, p. 425-428, 1997.

GACULA, M.C. The design of experiments for shelf-life study. **Journal Food Science**, Chicago, v.40, p. 399-403, 1975.

GAMBARO, A.; FISZMAN, S.; GIMÉNEZ, A.; VARELA, P.; SALVADOR, A. Consumer acceptability compared with sensory instrumental measures of white pan bread: Sensory shelf-life estimation by survival analysis. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 69, p. 401-405, 2004.

HOUGH, G.; GARITTA, L.; GÓMEZ, G. Sensory Shelf Life Predictions by Survival Analysis Accelerated Storage Models. **Food Quality and Preference**, Barking, v.17, p.468-473, 2006.

INTERNATIONAL COMMISSION ON MICROBIOLOGICAL SPECIFICATIONS FOR FOODS (ICMSF). **Comissão Internacional para Especificações Microbiológicas dos Alimentos**. APPCC na Qualidade e Segurança Microbiológica de Alimentos. Livraria Varela, São Paulo-SP. 1997. 357p.

JACOBO-VELÁZQUEZ, D.A.; RAMOS-PARRA, P.A.; HERNANDEZ-BRENES, C. Survival analysis applied to the sensory shelf-life dating of high hydrostatic pressure processed avocado and mango pulps. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 75, p. 286-291, 2010.

JOHONSON, R.A.; WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis**.

Upper Saddle River: Prentice-Hall, 1988. 800p.

NICOLI, M. C. **Shelf Life Assessment of Food**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2006. 316p.

PEDRO, A. M. K.; FERREIRA, M. M. C. Multivariate accelerated shelf-life testing: a novel approach for determining the shelf-life of foods. **Journal Of Chemometrics**, Chichester, v. 20, p. 76-83, 2006.

PILON, L.; OETTERER, M.; GALLO, C. R.; SPOTO, M. H. F. Shelf life of minimally processed carrot and green pepper. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 1, p. 150-158, 2006.

PINSTRUP-ANDERSEN, P. Food security: definition and measurement. **Food Security**, v. 1, n. 1, p. 5-7, 2009.

PRESA-OWENS, S.; LOPEZ-SABATER, C.; RIVERO-URGELL, M. Shelf-Life Prediction of an Infant Formula Using an Accelerated Stability Test (Rancimat). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 43, n. 11, p. 2879-2882, 1995.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>. 2016.

RAGNARSSON, J.O.; LABUZA, T.P. Accelerated shelf life testing for oxidative rancidity in foods? A review, **Food Chemistry**, Londres, v. 2, n. 4, p. 291-308, 1977.

REIJ, M. W.; VAN-SCHOTHORST, M. Avaliação de risco microbiológico em alimentos: avaliação crítica. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 31, n.1, p. 01-08, 2000.

ROCHA, A.M.C.N.; MORAES, A.M.M.B. Shelf life of minimally processed apple (cv. Jonagored) determined by colour changes. **Food Control**, Guildford, v. 14, p. 13-20, 2003.

3 ESTUDO DE ESTABILIDADE E SENSIBILIDADE DO MÉTODO *SHENON*

Resumo

A proposição de um teste estatístico, geralmente, vem acompanhada de um estudo de desempenho, em termos de taxa de erro tipo I, poder e robustez. No entanto, quando o método proposto não é um teste, pode-se avaliar sua estabilidade e sensibilidade. A estabilidade refere-se à produção de resultados coerentes, frente à análise de dados com locação e variabilidade real. Por sua vez, a análise de sensibilidade verifica a variabilidade dos resultados produzidos frente a perturbações controladas e arbitrárias nas variáveis de entrada. Este capítulo tem por objetivo avaliar a estabilidade e sensibilidade do método *SheNon*. As avaliações foram realizadas por meio de dois estudos de simulação Monte Carlo. Os resultados sugerem que o método *SheNon* é considerado estável e sensível ao número de tempos (tamanho da amostra) em que os alimentos são avaliados.

Palavras-chave: Estabilidade; Sensibilidade; Simulação Monte Carlo

Abstract

The development of statistical tests is usually presented along with a performance evaluation, such as error type-I rate, power and robustness measures. When another type of procedure is proposed, however, one usually evaluates its stability and sensitivity. The latter verifies the variability of the output results in different scenarios of controlled, arbitrary perturbations in the input variables, while the former concerns the production of coherent results of the data analysis in location-scale, realistic scenarios. Thus, the objective of this chapter is evaluating both the stability and the sensitivity of the *SheNon* method. The evaluations were conducted in two separate Monte Carlo studies. The results suggest that the *SheNon* method can be considered stable and sensible to the number of times sample size in which the food in a given experiment is evaluated.

Keywords: Stability; Sensitivity; Monte Carlo simulation

3.1 Introdução

Ao se desenvolver um teste estatístico uma das condições para investigar sua validade é avaliar sua taxa de erro tipo I e tipo II. No entanto, existem procedimentos estatísticos que não são denominados por testes e sim métodos, não sendo então possível o cálculo dessas taxas. Desse modo, para determinar a eficiência ou qualidade de um método pode-se avaliar sua estabilidade e sensibilidade.

A estabilidade de um método tem por objetivo avaliar o comportamento frente à medidas de posição e dispersão realistas (provenientes de dados reais). Enquanto, na análise de sensibilidade verifica-se o seu comportamento diante de uma variabilidade arbitrária e imposta independente da realidade prática.

A estabilidade de um método consiste em avaliar as variações ocorridas nas medidas de interesse ao longo do tempo. Em outras palavras, um método é considerado estável se o seu resultado apresenta valores compatíveis com a realidade. Neste caso, o método será considerado estável se as predições resultantes não forem discrepantes das reais (DE MARTINI, 1995).

A avaliação da sensibilidade de um método pode ser realizada por meio da análise de sensibilidade. Saltelli et al. (2008) definem a análise de sensibilidade como sendo o estudo da relação entre as variações no resultado de um método ou modelo e as diferentes fontes de variação dos dados de entrada dos mesmos. Em outras palavras, pode-se dizer que a análise de sensibilidade consiste em estudar o efeito que a variação de um dado de entrada pode ocasionar nos resultados (dados de saída).

De acordo com Frey e Patil (2002) a análise de sensibilidade permite compreender como uma solução depende dos dados de entrada, identificar as variáveis iniciais que têm um impacto mais significativo nos resultados e garantir a qualidade e validação da análise.

Na análise de sensibilidade o que se procura é determinar como a variação nos dados de entrada alteram os dados de saída. Essa determinação pode ser realizada, principalmente, pelos meios:

1. Análise de sensibilidade local (também denominada por análise de *threshold*) usada, especificamente, para modelos determinísticos (CULLEN e FREY, 1999);
2. Método da diferença na proporção de log-odds utilizada nos casos em que o resultado é uma probabilidade, para detalhes ver Stiber, Pantazidou e Small (1999);
3. Método da análise diferencial em que o produto das derivadas parciais são utilizadas

para estimar a sensibilidade, apresentado em Lomas e Eppel (1997);

4. Análise de regressão que é empregada como uma técnica probabilística da análise de sensibilidade descrevendo a relação entre as variáveis;
5. Análise de variância que avalia se há uma relação entre a variável de entrada e uma ou mais de saída;
6. Método de superfície de resposta o qual é utilizado quando um número limitado de fatores estão sob investigação, conforme explicam Frey e Patil (2002);
7. Método da transformada de Fourier, detalhado por Bresolin (2005), gera os dados de forma senoidal e usa a transformada de Fourier para avaliar a sensibilidade;
8. Método de Monte Carlo que consiste na realização de múltiplas avaliações com conjunto de dados de entrada gerados aleatoriamente, seguindo uma distribuição de probabilidade descrito em Frey e Patil (2002).

Deste modo, verifica-se a importância em avaliar a estabilidade e sensibilidade do método proposto às variações realizadas nos dados de entrada, pois, com este conhecimento é possível realizar perturbações que gerem variações específicas na variável resposta, para por exemplo realizar um estudo de simulação.

Considerando a importância de se conhecer a estabilidade e sensibilidade de um método ou processo, isto é, o quão sensível e estável esses podem ser às variáveis de entrada esse capítulo tem como objetivo realizar um estudo preliminar da estabilidade do método para verificar como variações realistas impactam nas previsões geradas e avaliar o efeito que as perturbações realizadas nos dados de entrada causam na previsão da variável de saída (vida útil do alimento), por meio da análise de sensibilidade.

3.2 Estudo de simulação empregando informações de dados reais

A presente subseção aborda o primeiro estudo de simulação realizado com o objetivo de avaliar a estabilidade do método proposto neste estudo.

Foi realizado uma simulação Monte Carlo, que consiste do suposto conhecimento da distribuição de probabilidade subjacente parametrizada por estimativas amostrais.

A partir de milhares de repetições desse mecanismo gerador de dados simulados, baseado em dados reais, pode-se avaliar a coerência das previsões geradas e sua variabilidade natural.

O conjunto de dados do qual obteve-se as estimativas amostrais refere-se a um experi-

mento em delineamento inteiramente aleatorizado de processamento mínimo de berinjelas. As quais foram cortadas em rodela de aproximadamente 7mm, separando-se uma amostra controle e as demais amostras foram submetidas aos tratamentos com ácido (submersas em ácido ascórbico 0,5 g/L e cítrico 0,5 g/L), soluções filmogênicas de amido (fécula de mandioca) a 1% e 3% (peso/volume) e solução de gelatina (em pó sem sabor) a 1% e 3% (peso/volume).

Os atributos avaliados na berinjela minimamente processada foram: aparência, cor, aroma, impressão global (IG), intenção de compra (IC), os componentes de cor L, a*, b*, ângulo Hue (H), sólidos solúveis (SS), acidez (Ac), potencial hidrogeniônico (pH), índice de escurecimento (IE) e cromaticidade (Cr). As variáveis físico-químicas foram medidas em três repetições e os atributos sensoriais foram avaliados por cinquenta consumidores de berinjela.

O experimento foi desenvolvido no laboratório da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), a 5°C em estufas do tipo BOD (demanda bioquímica de oxigênio), nos tempos: 0, 3, 6, 9, 12 e 15 dias.

De posse das estimativas amostrais (vetor de médias e matriz de covariâncias) simulou-se mil conjuntos de dados, para cada tratamento, considerando uma distribuição normal multivariada para cada tempo, com três repetições.

Aplicou-se uma vez o método *SheNon* a cada um dos mil conjuntos de dados, resultando em mil predições do tempo de vida útil da berinjela minimamente processada.

Com as mil predições em mãos obteve-se o intervalo de confiança bootstrap com o quantil inferior de 2,5% e superior de 97,5% para a predição do tempo de vida útil.

Duas características positivas esperadas que indicam estabilidade do método seriam que as predições pontuais obtidas pelo método *SheNon* estivessem contidas nos intervalos de confiança e que os valores preditos não fossem discrepantes. Sendo definido como valores discrepantes, neste estudo, valores negativos (pois trata-se de tempo de vida útil) ou superiores ao $Q_3 + 1,5(Q_3 - Q_1)$ (HINTZE e NELSON, 1998), em que Q_1 é o primeiro quartil e Q_3 o terceiro.

As predições, obtidas por meio de simulações, para cada tratamento bem como os respectivos intervalos de confiança são apresentados na Figura 10.

Figura 10 – Distribuições de bootstrap das predições de vida útil de berinjela sob os tratamentos considerados, destacando-se o intervalo com 95% de confiança (linha pontilhada) e a predição pontual (linha contínua)

Na Figura 10 verificou-se que as predições pontuais estão contidas nos intervalos. Em relação a discrepância das predições nenhuma apresentou-se menor que zero, mas poucas superaram a cota $Q_3 + 1,5(Q_3 - Q_1)$ para serem consideradas como valores discrepantes

(1,2%, 0,4%, 1%, 0%, 1,5% e 0,6% para os tratamentos controle, controle ácido, amido 1%, amido 3%, gelatina 1% e gelatina 3%, respectivamente). Além disso, o maior valor discrepante se distanciou em 7,8 dias da mediana o que, do ponto de vista prático, é aceitável e não é considerado prejudicial.

Verifica-se que as previsões geradas por meio do método *SheNon* se mostraram coerentes e com variabilidade aceitável, do ponto de vista prático. Deste modo, pode-se dizer que o método mostrou-se estável para a previsão do tempo de vida útil de um alimento.

3.3 Estudo de simulação considerando diferentes cenários

O presente estudo de simulação tem como objetivo verificar a sensibilidade do método *SheNon*, ou seja, avaliar a magnitude da variação causada por perturbações controladas nos parâmetros que regem os dados de entrada.

Para tanto, foram criados seis cenários, um para estudar cada perturbação provocada. Em cada cenário, foram realizados mil sorteios de amostras vindas de normais multivariadas, parametrizadas por μ_i e Σ , com $i = 1, 2, \dots, t$ tempos. Pela notação utilizada, pode-se observar que o vetor de médias varia a cada tempo e matriz de covariâncias permanece constante.

As médias das variáveis foram consideradas decrescentes com o decorrer de tempo e equidistantes, contanto que começassem em 15 e não ultrapassassem 1, como pode ser visto a seguir:

$$\mu_1 = \begin{bmatrix} 15 \\ 15 \\ \vdots \\ 15 \end{bmatrix}_{p \times 1} \quad \dots \quad \mu_t = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}_{p \times 1} \quad \Sigma = \sigma^2 \begin{bmatrix} 1 & \rho & \dots & \rho \\ \rho & 1 & \dots & \rho \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho & \rho & \dots & 1 \end{bmatrix}_{p \times p}$$

Sendo σ^2 a variância, ρ a correlação e p o número de atributos. Nas matrizes obtidas, $\mathbf{X}' = [\mathbf{X}_1, \dots, \mathbf{X}_i, \dots, \mathbf{X}_t]$ aplicou-se o método *SheNon* e calculou-se a previsão média, o limite superior médio e o limite inferior médio do tempo de vida útil. Esses resultados são apresentados na Figura 11 para cada cenário.

A escolha dos níveis de cada perturbação realizadas nos parâmetros presentes no método foram arbitradas de forma a deixá-las, na medida do possível, fiéis à realidade.

As perturbações realizadas são variações nos: números de tempos, variáveis, correlações, variâncias, médias e amostra limítrofe. As perturbações provocadas são apresentadas no Quadro 1.

Número de tempos	3; $\boxed{5}$; 7; 9; 11; 13; 15
Número de variável	3; 5; 10; $\boxed{15}$; 20; 30
Correlações	0; 0,3; $\boxed{0,5}$; 0,7; 0,9
Variâncias	$\boxed{1}$; 4; 9; 25; 36
Médias	$\boxed{\mu}$; $\mu \times c$; $\mu + c$
Amostras limítrofes	$\mathbf{X}_i, \dots, \boxed{\mathbf{X}_{t-1}}$ e $\mathbf{X}_t \ i=1, \dots, t$

Quadro 1: Perturbações realizadas nos dados de entrada

As perturbações foram estudadas individualmente (cenários distintos), pois havia o interesse em detectar o impacto gerado nas predições em cada caso. Ao se promover uma perturbação nos dados de entrada as demais permaneciam constantes, conforme destacados no Quadro 1.

Os cenários construídos neste estudo de sensibilidade do método *SheNon* foram:

Cenário 1: variaram-se os números de tempos conforme a linha 1 do Quadro 1.

Cenário 2: variaram-se os números de variáveis de acordo com a linha 2 do Quadro 1.

Cenário 3: variaram-se as correlações (linha 3, Quadro 1). Sendo que a correlação zero implicaria na independência total das variáveis e a correlação igual a 0,9 quase uma dependência total, remetendo a multicolinearidade destes atributos em estudo.

Cenário 4: perturbou-se a variância (linha 4, Quadro 1).

Cenário 5: variou-se a média (linha 5, Quadro 1). A variação na média consistiu-se em somar e multiplicar uma constante ao vetor original das médias. A constante c foi assumida igual a 10 sem perda de generalidade.

Cenário 6: variou-se a amostra limítrofe, como sendo os dados do i -ésimo tempo, com $i = 1, \dots, t$ (linha 6 do Quadro 1).

Figura 11 – Predições médias dos tempos de vida útil da berinjela minimamente processada com respectivos intervalos de predições para cada cenário

No cenário 1, Figura 11 (a), verificou-se que as predições médias do tempo de vida

útil do alimento nos diferentes tempos foram próximas. O que ocorreu com o aumento do número de tempos foi o aumento no tamanho da amostra e, conseqüentemente, um ganho de precisão na predição visto que o intervalo de predição do tempo de vida útil da berinjala diminuiu sua amplitude, como era esperado (CASELLA e BERGER, 2001).

Para o cenário 2, as predições do tempo de vida útil não foram afetadas com a perturbação no número de variáveis. Os valores preditos com seus respectivos intervalos não apresentaram alterações conforme pode ser observado na Figura 11 (b).

No cenário 3 e 4, a perturbação provocada na correlação e na variância levou a uma ligeira queda nos valores preditos (Figura 11 (c) e (d), respectivamente), porém não afetou significativamente as predições e nem os intervalos, resultado este esperado uma vez que na análise de componentes principais há a padronização das variáveis.

Por meio da Figura 11 (e) certificou-se que a magnitude da media não interfere nas predições bem como em seus intervalos, cenário 5. Em relação as predições provenientes da perturbação provocada na amostra limítrofe, cenário 6, essas apresentaram ligeiras alterações (Figura 11 (f)) de acordo com o vetor escolhido. No entanto, todos os intervalos se interceptam sendo considerados iguais, mas vale ressaltar que os valores do vetor da amostra limítrofe devem ser cuidadosamente determinados conforme sugere Gacula (1975).

3.4 Conclusão

De modo geral, o método *SheNon* mostrou-se estável para as predições do tempo de vida útil e sensível ao número de tempos em que o alimento foi observado.

Com isso verifica-se que a perturbação, dentre as testadas, que influencia na predição do tempo de vida útil do alimento é o número de tempos (tamanho da amostra). Visto isso, é relevante que o pesquisador se esforce para fazer o maior número possível de avaliações ao longo do tempo.

Referências

BRESOLIN, C. S. Análise de sensibilidade aplicada a uma planta térmica de geração de potencia. 2005. 85p. Dissertação (Mestre em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

CASELLA, G.; BERGER, R. **Statistical Inference**. Duxbury Press, 2001. 688 p.

CULLEN, A. C.; H. C. FREY. **Probabilistic Techniques in Exposure Assessment: A Handbook for Dealing with Variability and Uncertainty in Models and Inputs**. New York: Springer, 1999. 336 p.

DE MARTINI, D. Looking for statistical stability: a new method of evaluating reliability of statistical tests. **Bollettino della Società italiana di biologia sperimentale**, Napoli, v. 72, n. 5-6, p. 179-186, 1995.

FREY, H. C.; PATIL, R. S. Identification and review of sensitivity analysis methods. **Risk analysis**, Nova Iorque, v. 22, n. 3, p. 553-578, 2002.

GACULA, M. C. The design of experiments for shelf-life study. **Journal Food Science**, Chicago, v.40, p. 399-403, 1975.

HINTZE, J. L.; NELSON, R. D. Violin Plots: A Box Plot-Density Trace Synergism. **The American Statistician**, Washington, v. 52, n. 2, p. 281-84, 1998.

LOMAS, K. J.; EPPEL H. Sensitivity analysis techniques for building thermal simulation programs. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 19, p. 21-44, 1997.

SALTELLI, A.; RATTO, M.; TERRY, A.; CAMPOLONGO, F.; CARIBONI, J.; GATELLI, D.; SAISANA, M.; TARANTOLA, S. **Global Sensitivity Analysis: The primer**. Chichester: Wiley, 2008. 304 p.

STIBER, N. A., M. PANTAZIDOU; M. J. SMALL. Expert System Methodology for Evaluating Reductive Dechlorination at TCE Sites. **Environmental Science and Technology**, Easton, v. 33, n. 17, p. 3012-3020, 1999.

4 MÉTODO *SHENON* PARA DADOS EXPERIMENTAIS

Resumo

Este estudo objetiva apresentar o método *SheNon* para dados experimentais. A aplicação do método *SheNon* para dados provenientes de experimentos consiste em construir contrastes amostrais com os tempos preditos dos tratamentos de interesse e compará-los com uma DMS (diferença mínima significativa) obtida empiricamente por meio do método bootstrap. Deste modo, o método *SheNon* permite predição do tempo de vida útil de um alimento, em estudos não acelerados, considerando que estes tenham sido submetidos a diferentes tratamentos. Neste trabalho, aplicou-se o referido método aos dados de um experimento com berinjelas minimamente processadas submetidas a seis diferentes tratamentos. Por meio dele, verificou-se que os tratamentos são estatisticamente iguais, em outras palavras, nenhum dos tratamentos aplicados se diferencia dos demais em relação ao aumento no tempo de vida útil da berinjela minimamente processada. O que do ponto de vista prático é importante, pois o custo do produto é menor.

Palavras-chave: Dados experimentais; Bootstrap; Distribuição empírica; Berinjela minimamente processada

Abstract

In this study, it is presented a modification of the *SheNon* method to allow for experimental data. For practioners, this modification of the *SheNon* method consists in creating sampling contrasts of the predicted times among treatments of interest, then comparing these measures with an empirical, bootstrapped LSD (Least Significant Difference). When constructed in this fashion, the modified *SheNon* method allows for predicting the shelf-life of edible products exposed to different treatments in non accelerated studies. In this study, said method was applied to the data of an experiment encompassing minimally processed eggplant submitted to six treatments. It was verified no statistical difference among treatments; in other words, no one of the used treatments is different from one

another with regards to the increase of the shelf life of minimally processed eggplants.

Keywords: Experimental data; Bootstrap; Empirical distribution; Minimally processed eggplant

4.1 Introdução

A vida de prateleira ou tempo de vida útil de um alimento pode ser definida como o período de tempo dentro do qual é considerado seguro e com qualidade aceitável para o consumo (ARES, GIMÉNEZ e GAMBARO, 2008).

O mercado consumidor apresenta-se cada vez mais exigente em relação à elevada segurança e à qualidade dos alimentos, com a expectativa de que características serão mantidas durante o prazo de validade descrito na embalagem.

Para determinar o prazo de validade dos alimentos, é de interesse que atributos de diferentes naturezas (microbiológicas, físico-químicas e sensoriais) sejam considerados simultaneamente. Um método multivariado para estudos não acelerados, capaz de considerar todos esses atributos conjuntamente, é o método *SheNon*, apresentado na seção 2.2.

Uma questão que vem aparecendo com as exigências dos consumidores e a concorrência no mercado é o investimento das indústrias em diferentes formas de processamento dos alimentos, com o objetivo de aumentar o tempo de vida útil por meio da diminuição de sua deterioração e manutenção das características microbiológicas, físico-químicas e sensoriais iniciais. Esses métodos de processamentos podem ser, por exemplo, aplicação de diferentes tratamentos como aditivos alimentares, métodos de secagem, congelamento, uso de distintos tipos de embalagens, entre outros.

Neste contexto, Jaime et al. (1998) avaliaram a estabilidade do molho de tomate em diferentes embalagens de consumo (vidro, metálica e cartonada). Os autores observaram que o molho de tomate acondicionado na embalagem cartonada apresentou maior perda de cor em relação às demais, provocando maior escurecimento e a consequente redução na vida útil do produto. Em relação às embalagens de vidro e de metal, estas apontaram desempenho similar entre si, com melhores características de proteção ao produto.

Amanatidou et al. (2000) estudaram o impacto da alta concentração de oxigênio e dióxido de carbono em embalagens com cenouras minimamente processadas. Com os resultados obtidos, os autores concluíram que a combinação de 50% de oxigênio e 30% de dióxido de carbono prolongou o tempo de vida útil das fatias de cenouras em dois dias quando comparado com um armazenamento ao ar.

Anjos et al. (2003) investigaram as alterações do purê de tomate acondicionado em embalagens de vidro, metal e cartonada estocadas a 23°C e 35°C. Com o estudo, os

autores observaram alteração de cor, sabor característico e perda de qualidade ao longo do tempo de estocagem, sendo que a embalagem cartonada, independente da temperatura de estocagem, apresentou baixo desempenho em relação às demais. Os autores ainda concluíram que a temperatura, o tipo de embalagem e o tempo de estocagem do produto influenciaram significativamente nas alterações dos atributos sensoriais, reduzindo sua vida útil e comprometendo o prazo de validade especificado pelo fabricante.

Prentice e Sainz (2005) avaliaram o prazo de validade de um alimento minimamente processado à base de carpa-capim considerando amostras embaladas a vácuo e amostras que não foram embaladas a vácuo. As amostras embaladas a vácuo mostraram-se próprias para consumo por até 45 dias, enquanto as outras se tornaram impróprias a partir do quinto dia de armazenamento (considerando uma temperatura de 8°C).

Spagnol, Park e Sigrist (2006) examinaram a taxa de respiração de cenouras minimamente processadas e armazenadas a diferentes temperaturas, comparando o produto inteiro e cortado. Com o estudo, os autores verificaram que os danos físicos causados nos tecidos vegetais pelo processamento mínimo aumentaram a taxa de respiração das cenouras em relação ao produto inteiro, levando-o a deterioração mais rápida.

Mantilla et al. (2010) estudaram o efeito da embalagem em atmosfera modificada na conservação de alimentos, uma vez que esse tipo de embalagem proporciona aumento na validade comercial, diminui perdas com deterioração e facilita a comercialização dos diferentes produtos. Com o estudo, os autores verificaram que há efeito bacteriostático na embalagem em atmosfera modificada, o qual se deve à ação do CO₂, que aumenta, diminuindo a taxa de crescimento microbiano.

Antoniolli et al. (2012) avaliaram os atributos físicos, químicos, sensoriais e microbiológicos de abacaxis minimamente processados, tratados com combinação de ácido ascórbico e ácido cítrico com adição de hipoclorito de sódio e água (controle). Por meio do estudo, os autores verificaram que o abacaxi tratado apresenta tempo de vida útil de oito dias contra seis dias da amostra controle, evidenciando aumento no tempo de vida útil predito.

Na mesma linha de pesquisa, Famurewa, Ibidapo e Olaifa (2013) observaram o desempenho de garrafas plásticas e tubos de polietileno na conservação de pasta de tomate. Para tanto, os autores realizaram análises físico-químicas e microbianas, constatando que as amostras mantidas em garrafas plásticas conservavam seus nutrientes por dez semanas,

enquanto as mantidas em polietileno, por sete.

Atentando-se à importância de determinar o tempo de vida útil dos alimentos, prezando atributos de diferentes naturezas e a aplicação de tratamentos distintos este estudo objetiva propor a aplicação do método *SheNon*, considerando dados provenientes de um experimento, independente do desenho experimental adotado, em que, dado um alimento submetido a diferentes tratamentos, seja possível verificar qual desses proporciona um aumento no tempo de vida útil sem que ultrapasse as características de uma amostra limítrofe. Sendo essa amostra limítrofe quantidades máximas ou mínimas permitidas para cada atributo presente no alimento definida por Gacula (1975) como *cut-off point*.

4.2 Experimento

O experimento consiste no processamento mínimo (operação que elimina partes não comestíveis dos frutos e vegetais) de berinjelas. Após este processamento, as rodela de berinjelas foram submetidas à imersão em solução ácida, inicialmente elaborada com os ácidos ascórbico 0,5 g/L e cítrico 0,5 g/L (0,5g de ácido ascórbico + 0,5g de ácido cítrico para 1 Litro de água) durante 1 minuto, com exceção das amostras controle que foram imersas somente em água potável a temperatura ambiente.

Neste momento, obtiveram-se também as amostras de controle ácido, isto é, aquelas que foram submetidas à imersão em solução de ácidos. As amostras que receberam os tratamentos foram, em seguida, imersas nas soluções filmogênicas de amido (fécula de mandioca) a 1% e 3% w/v e solução de gelatina (em pó sem sabor) a 1% e 3% w/v. Todas amostras foram centrifugadas e, logo, dispostas numa superfície gradeada em inox sob ventilação forçada para eliminação do excesso da solução de revestimento e secagem.

Os atributos avaliados no alimento foram: aparência, cor, aroma, impressão global (IG), intenção de compra (IC), os componentes de cor L, a*, b*, ângulo Hue (H), sólidos solúveis (SS), acidez (Ac), potencial hidrogeniônico (pH), índice de escurecimento (IE) e cromaticidade (Cr). As variáveis físico-químicas foram medidas em três repetições e os atributos sensoriais foram avaliados por cinquenta consumidores de berinjela.

O experimento foi desenvolvido no laboratório da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), a 5°C em estufas do tipo BOD (demanda bioquímica de oxigênio), nos tempos: 0, 3, 6, 9, 12 e 15 dias. O objetivo do experimento foi avaliar se o uso dos revestimentos com amido e gelatina proporcionava aumento no tempo de vida útil da

berinjela minimamente processada.

4.3 Método *SheNon* aplicado a dados experimentais

Seja um experimento em que se medem P atributos de I tratamentos ao longo de T tempos, em J repetições. Os passos necessários para aplicação do método *SheNon* em dados com estrutura experimental e inferência bootstrap para a comparação do tempo de vida útil dois a dois são apresentados a seguir:

Para analisar dados com estrutura experimental, faz-se necessário:

1. Aplique o método *SheNon* para tratamento i , obtendo a vida útil predita $\hat{Y}_i$, para $i = 1, \dots, I$;
2. Ordene $\hat{Y}_i$, obtendo $\hat{Y}_{(1)}, \dots, \hat{Y}_{(I)}$; Para todo contraste i e $i + 1$, $i = 1, \dots, I - 1$ proceda com os passos abaixo;
3. Estime o contraste $d = \hat{Y}_{(i)} - \hat{Y}_{(i+1)}$, com $i = 1, \dots, I - 1$;
4. Para todo tempo $t = 1, \dots, T$, faça:
 - (a) Para os tratamentos i e $i + 1$, crie as matrizes A_i e A_{i+1} , ambas de dimensão $J \times P$, contendo as observações das J repetições dos P atributos, no tempo t .
 - (b) Concatene as duas matrizes A_i e A_{i+1} por suas linhas, gerando a matriz A , de dimensão $2J \times P$.
 - (c) Imposição de H_0 : sorteie, com reposição, $2J$ linhas da matriz A , formando a matriz de bootstrap D , de dimensão $(2J \times P)$;
 - (d) Divida a matriz D em duas submatrizes, D_i e D_{i+1} , de dimensão $J \times P$;
 - (e) Calcule a média das colunas de D_i e D_{i+1} , obtendo os vetores v_i e v_{i+1} ;
 - (f) Os vetores v_i e v_{i+1} serão, respectivamente, a t -ésima linha da matriz G_i e G_{i+1} , ambas de dimensão $J \times P$;
5. Aplique o método *SheNon* nas matrizes G_i e G_{i+1} , obtendo as predições de bootstrap $\hat{Y}_i^*$ e $\hat{Y}_{i+1}^*$;
6. Calcule $d^* = |\hat{Y}_i^* - \hat{Y}_{i+1}^*|$;
7. Repita os passos 4 a 6, B vezes;
8. Tomar o quantil superior α das B diferenças d^* , nomeando-o de DMS (diferença mínima significativa);

9. Aplique a regra de decisão:

$$\begin{cases} \text{Rejeitar } H_0, \text{ se } |d| \geq \text{DMS} \\ \text{Não rejeitar } H_0, \text{ caso contrario} \end{cases}$$

4.4 Resultados e discussão

Esta seção apresenta e discute os resultados da análise descritiva dos dados do experimento e a aplicação do método *SheNon* para dados com estrutura experimental.

Inicialmente, realizou-se a análise descritiva dos atributos estudados, considerando cada tratamento, uma vez que essa análise é capaz de fornecer uma visão geral e sumarizante. Além disso, constituiu-se do cálculo das medidas descritivas: média, desvio padrão, máximo, mínimo e gráfico *box-plot* para os atributos estudados em cada tempo, considerando todos os tratamentos. As medidas descritivas são apresentadas nas Tabelas de 7 a 18 e os gráficos nas Figuras de 12 a 29 para os tratamentos controle, controle ácido, amido 1%, amido 3%, gelatina 1% e gelatina 3%, respectivamente.

Por meio das Tabelas de 7 a 18, observa-se que os valores da luminosidade (L) apresentaram queda, em especial a partir do 9º dia, verificando-se escurecimento da berinjela para todos os tratamentos, com exceção da gelatina 3%. Os atributos a^* (relacionado com coloração verde) e b^* (responsável pela coloração verde amarelada) tiveram uma elevação ao longo do tempo, promovendo queda na coloração da berinjela minimamente processada. A coloração foi mantida constante somente para os tratamentos com amido a 1% e 3%.

O pH apresentou, para todos os tratamentos aumento, estimulando as atividades da enzima peroxidase, auxiliando na formação de melaninas e, conseqüentemente, favorecendo o escurecimento da berinjela. A acidez manteve-se constante, o que pode ser explicado pelos processos bioquímicos do metabolismo respiratório, que sintetizam e consomem ácidos como esqueleto de carbono (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

Em relação ao Ângulo de Hue houve declínio ao longo do tempo de armazenamento para os tratamentos, com exceção do amido e gelatina 3%, o que diminui a coloração amarela. Para o Índice de Escurecimento, observou-se um aumento ao longo do tempo. O escurecimento foi bem maior no controle que no tratamento com amido, independente da quantidade utilizada. A berinjela com revestimento de amido escureceu menos que as tratadas com gelatina. Em relação à cromaticidade, apresentou aumento com o passar do

tempo, gerando ampliação na intensidade da cor do fruto.

O teor de sólidos solúveis apresentou crescimento com o passar do tempo, o que decorre do aumento na taxa de respiração do fruto. Pois, a respiração é um processo oxidativo pelo qual as células vivas utilizam suas reservas metabólicas como fonte de energia, conduzindo ao amadurecimento e à senescência. Esse processo converte o amido presente no fruto em açúcares, elevando o teor de sólidos solúveis (GONÇALVES, 2007).

Os atributos sensoriais aparência, cor, aroma, impressão global e intenção de compra mantiveram-se estáveis ao longo do tempo para os tratamentos com amido 1% e 3% e gelatina 1%. Deste modo, verifica-se que estes tratamentos demonstraram-se eficientes na conservação da berinjela minimamente processada.

As berinjelas tratadas como controle e o controle ácido sofreram o maior declínio ao longo do tempo de armazenamento em relação aos atributos sensoriais avaliados, demonstrando que a aplicação dos tratamentos foi eficiente na conservação da berinjela. Esse declínio pode ser atribuído principalmente aos sintomas de murchamento, perda de brilho, escurecimento, depressões na casca e leve ataque fúngico observados durante o experimento.

Tabela 7 – Medidas descritivas dos atributos físico-químicos e sensoriais referentes ao tratamento controle

Atributos	Medidas descritivas	Tempo (dias)					
		0	3	6	9	12	15
L	Média	77,50	76,83	78,03	67,73	65,93	68,97
	Desvio padrão	0,79	4,71	2,37	1,33	3,25	9,25
	Mínimo	76,60	71,40	75,30	66,20	63,40	58,30
	Máximo	78,10	79,70	79,50	68,50	69,60	74,70
a*	Média	-1,20	1,43	0,62	6,80	6,40	4,80
	Desvio padrão	0,56	1,75	0,68	0,56	1,04	2,86
	Mínimo	-1,70	-0,30	-0,10	6,20	5,20	3,10
	Máximo	-0,60	3,20	1,25	7,30	7,00	8,10
b*	Média	9,90	19,28	19,73	22,70	21,20	22,13
	Desvio padrão	1,23	1,15	0,33	0,30	1,47	1,22
	Mínimo	19,00	17,95	19,35	22,40	20,30	20,80
	Máximo	21,30	19,98	19,95	23,00	22,90	23,20
SS	Média	2,83	3,33	3,17	4,33	4,17	4,17
	Desvio padrão	0,76	0,58	0,76	0,29	1,26	0,29
	Mínimo	2,00	3,00	2,50	4,00	3,00	4,00
	Máximo	3,50	4,00	4,00	4,50	5,50	4,50
Ac	Média	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
	Desvio padrão	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	Mínimo	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	Máximo	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
pH	Média	5,30	5,42	5,37	5,51	5,01	5,23
	Desvio padrão	0,22	0,09	0,13	0,13	0,41	0,21
	Mínimo	5,15	5,36	5,23	5,39	4,53	4,99
	Máximo	5,55	5,52	5,48	5,65	5,25	5,40

Tabela 8 – Medidas descritivas dos atributos físico-químicos e sensoriais referentes ao tratamento controle (continuação Tabela 7)

Atributos	Medidas descritivas	Tempo (dias)					
		0	3	6	9	12	15
H	Média	93,42	85,77	88,20	73,32	73,23	78,05
	Desvio padrão	1,46	5,02	2,01	1,49	2,37	6,32
	Mínimo	91,78	80,86	86,30	71,95	70,97	70,75
	Máximo	94,57	90,90	90,30	74,91	75,70	81,87
IE	Média	27,54	38,32	28,82	37,89	43,73	48,75
	Desvio padrão	1,65	15,78	6,42	3,49	4,13	10,17
	Mínimo	25,82	27,45	23,74	34,82	39,29	38,89
	Máximo	29,13	56,43	36,04	41,68	47,47	59,20
Cr	Média	19,94	23,81	19,59	22,77	22,83	25,67
	Desvio padrão	1,25	6,45	3,61	1,23	1,23	4,39
	Mínimo	19,04	18,45	16,24	21,61	21,73	22,55
	Máximo	21,37	30,98	23,41	24,05	24,16	30,69
Ap	Média	6,74	5,91	6,80	3,16	2,82	1,00
	Desvio padrão	2,20	2,05	1,76	1,93	1,91	0,01
	Mínimo	1,00	1,00	3,00	1,00	1,00	1,00
	Máximo	10,01	9,00	10,01	9,00	8,00	1,00
Cor	Média	6,90	5,86	6,90	3,26	2,84	1,00
	Desvio padrão	1,83	1,95	1,78	1,87	1,77	0,01
	Mínimo	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00
	Máximo	9,00	8,00	10,01	9,00	7,00	1,00
Ar	Média	6,66	6,02	6,39	4,60	4,20	1,00
	Desvio padrão	1,93	2,20	2,10	2,19	2,22	0,01
	Mínimo	1,00	1,00	0,01	1,00	1,00	1,00
	Máximo	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	1,00
IG	Média	6,64	5,81	6,51	3,42	3,38	1,00
	Desvio padrão	2,05	2,15	1,85	1,94	1,98	0,01
	Mínimo	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00
	Máximo	9,00	8,00	9,00	9,00	8,00	1,00
IC	Média	3,46	3,14	3,35	1,96	1,78	1,00
	Desvio padrão	1,51	1,26	1,11	1,14	0,97	0,01
	Mínimo	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Máximo	9,00	5,00	5,00	5,00	4,00	1,00

Tabela 9 – Medidas descritivas dos atributos físico-químicos e sensoriais referentes ao tratamento controle ácido

Atributos	Medidas descritivas	Tempo (dias)					
		0	3	6	9	12	15
a*	Média	2,13	7,83	0,60	2,90	5,23	5,20
	Desvio padrão	2,14	12,55	0,72	1,25	1,24	2,12
	Mínimo	0,90	-0,20	-0,20	1,60	3,80	2,80
	Máximo	4,60	22,30	1,20	4,10	6,00	6,80
b*	Média	19,43	20,63	19,57	22,57	22,20	25,07
	Desvio padrão	3,13	1,95	3,62	1,15	1,06	4,48
	Mínimo	16,60	18,40	16,20	21,40	21,40	21,50
	Máximo	22,80	22,00	23,40	23,70	23,40	30,10
SS	Média	3,00	3,83	4,00	5,67	5,17	4,17
	Desvio padrão	0,50	0,29	1,00	1,04	0,29	0,58
	Mínimo	2,50	3,50	3,00	4,50	5,00	3,50
	Máximo	3,50	4,00	5,00	6,50	5,50	4,50

Tabela 10 – Medidas descritivas dos atributos físico-químicos e sensoriais referentes ao tratamento controle ácido (continuação Tabela 9)

Atributos	Medidas descritivas	Tempo (dias)					
		0	3	6	9	12	15
Ac	Média	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
	Desvio padrão	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	Mínimo	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	Máximo	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02
pH	Média	4,96	5,28	5,02	5,78	5,31	4,84
	Desvio padrão	0,19	0,16	0,03	0,13	0,08	0,36
	Mínimo	4,75	5,10	4,99	5,67	5,26	4,57
	Máximo	5,12	5,42	5,05	5,93	5,41	5,24
H	Média	84,25	73,38	88,14	82,72	76,80	78,14
	Desvio padrão	4,91	25,60	2,42	2,95	2,74	5,42
	Mínimo	78,59	43,95	85,76	80,19	74,86	72,45
	Máximo	87,27	90,53	90,60	85,95	79,93	83,23
IE	Média	32,58	28,21	31,37	32,44	36,34	35,48
	Desvio padrão	1,80	3,02	2,28	4,92	1,58	1,50
	Mínimo	30,80	25,69	28,75	26,80	34,52	34,29
	Máximo	34,40	31,55	32,75	35,79	37,40	37,16
Cr	Média	20,73	19,82	20,30	20,01	21,81	20,82
	Desvio padrão	0,25	2,00	0,25	1,66	0,69	1,84
	Mínimo	20,45	17,82	20,01	18,21	21,02	19,56
	Máximo	20,89	21,83	20,46	21,50	22,26	22,94
Ap	Média	6,82	7,04	6,57	5,82	5,52	1,00
	Desvio padrão	2,01	1,28	1,81	1,95	2,07	0,01
	Mínimo	2,00	4,00	2,00	1,00	1,00	1,00
	Máximo	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	1,00
Cor	Média	7,08	7,25	6,39	5,60	5,52	1,00
	Desvio padrão	1,74	1,20	1,82	1,75	1,98	0,01
	Mínimo	2,00	4,00	2,00	2,00	1,00	1,00
	Máximo	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	1,00
Ar	Média	6,92	6,39	6,10	5,70	5,60	1,00
	Desvio padrão	1,66	1,40	1,63	1,68	1,82	0,01
	Mínimo	2,00	2,00	3,00	2,00	1,00	1,00
	Máximo	9,00	9,00	9,00	8,00	9,00	1,00
IG	Média	6,88	6,93	6,33	5,72	5,44	1,00
	Desvio padrão	1,83	1,36	1,88	1,78	1,95	0,01
	Mínimo	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Máximo	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	1,00
IC	Média	3,50	3,53	3,37	3,20	2,80	1,00
	Desvio padrão	1,25	0,97	1,18	1,01	1,09	0,01
	Mínimo	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Máximo	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	1,00

Tabela 11 – Medidas descritivas dos atributos físico-químicos e sensoriais referentes ao tratamento amido 1%

Atributos	Medidas descritivas	Tempo (dias)					
		0	3	6	9	12	15
L	Média	75,60	79,73	76,23	75,07	74,87	72,47
	Desvio padrão	2,31	0,96	2,68	1,90	0,25	4,71
	Mínimo	73,20	78,70	74,00	73,20	74,60	68,90
	Máximo	77,80	80,60	79,20	77,00	75,10	77,80
a*	Média	1,63	0,60	1,47	2,73	3,47	3,07
	Desvio padrão	0,31	0,70	0,85	1,77	0,50	1,70
	Mínimo	1,40	-0,20	0,60	0,70	3,00	1,30
	Máximo	1,98	1,10	2,30	3,90	4,00	4,70
b*	Média	20,67	19,80	20,23	19,77	21,53	20,53
	Desvio padrão	0,23	2,00	0,21	1,50	0,64	2,05
	Mínimo	20,40	17,80	20,01	18,20	20,80	19,30
	Máximo	20,80	21,80	20,40	21,20	21,90	22,90
SS	Média	3,33	3,67	3,50	4,50	3,83	4,50
	Desvio padrão	0,76	0,29	0,50	0,50	0,29	0,50
	Mínimo	2,50	3,50	3,00	4,00	3,50	4,00
	Máximo	4,00	4,00	4,00	5,00	4,00	5,00
Ac	Média	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	Desvio padrão	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	Mínimo	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	Máximo	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02
pH	Média	5,12	5,28	5,15	5,52	5,38	5,23
	Desvio padrão	0,03	0,01	0,09	0,18	0,05	0,19
	Mínimo	5,09	5,28	5,05	5,33	5,32	5,01
	Máximo	5,15	5,28	5,22	5,69	5,42	5,36
H	Média	5,50	88,27	85,87	82,36	80,87	81,24
	Desvio padrão	,82	2,00	2,37	4,77	1,10	5,22
	Mínimo	84,56	87,11	83,54	78,91	79,65	76,38
	Máximo	86,07	90,58	88,28	87,80	81,79	86,75
IE	Média	33,88	31,39	37,84	35,68	34,82	36,75
	Desvio padrão	4,80	8,63	4,77	2,82	7,35	4,09
	Mínimo	28,58	25,26	32,74	33,19	29,26	33,81
	Máximo	37,93	41,25	42,19	38,74	43,15	41,42
Cr	Média	20,01	20,10	22,07	21,63	20,39	22,40
	Desvio padrão	1,50	2,27	0,38	0,74	2,35	0,99
	Mínimo	18,31	18,00	21,64	20,89	18,89	21,74
	Máximo	21,13	22,51	22,30	22,36	23,09	23,54
Ap	Média	6,32	6,14	6,47	6,76	6,58	1,00
	Desvio padrão	2,31	1,89	2,25	1,53	2,12	0,01
	Mínimo	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00
	Máximo	9,00	8,00	9,00	9,00	9,00	1,00
Cor	Média	6,46	6,28	6,39	6,65	6,72	1,00
	Desvio padrão	2,03	1,82	2,20	1,69	1,68	0,01
	Mínimo	2,00	1,00	2,00	2,00	2,00	1,00
	Máximo	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	1,00
Ar	Média	6,92	6,37	6,14	5,88	5,96	1,00
	Desvio padrão	1,70	1,84	1,81	1,86	1,87	0,01
	Mínimo	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00
	Máximo	9,00	9,00	10,01	9,00	9,00	1,00

Tabela 12 – Medidas descritivas dos atributos físico-químicos e sensoriais referentes ao tratamento amido 1% (continuação da Tabela 11)

Atributos	Medidas descritivas	Tempo (dias)					
		0	3	6	9	12	15
IG	Média	6,50	6,30	6,10	6,51	6,36	1,00
	Desvio padrão	2,02	1,87	2,39	1,54	1,88	0,01
	Mínimo	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00
	Máximo	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	1,00
IC	Média	3,52	3,19	3,25	3,57	3,34	1,00
	Desvio padrão	1,11	1,01	1,32	0,98	1,21	0,01
	Mínimo	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Máximo	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	1,00

Tabela 13 – Medidas descritivas dos atributos físico-químicos e sensoriais referentes ao tratamento amido 3%

Atributos	Medidas descritivas	Tempo (dias)					
		0	3	6	9	12	15
L	Média	73,60	76,03	73,23	74,23	73,60	75,80
	Desvio padrão	2,20	4,18	4,60	2,50	2,98	2,45
	Mínimo	71,40	71,30	68,60	72,50	70,30	73,40
	Máximo	75,80	79,20	77,80	77,10	76,10	78,30
a*	Média	3,56	1,70	3,37	2,53	3,73	3,20
	Desvio padrão	1,40	3,38	1,81	1,03	1,90	1,39
	Mínimo	2,00	-0,30	1,30	1,40	1,80	2,30
	Máximo	4,70	5,60	4,70	3,40	5,60	4,80
b*	Média	19,67	19,87	21,77	21,47	20,01	22,15
	Desvio padrão	1,29	1,90	0,15	0,71	2,08	0,79
	Mínimo	18,20	18,00	21,60	20,70	18,80	21,60
	Máximo	20,60	21,80	21,90	22,10	22,40	23,05
SS	Média	2,67	2,83	2,50	3,50	3,50	4,17
	Desvio padrão	0,29	0,29	0,50	0,50	0,50	1,04
	Mínimo	2,50	2,50	2,00	3,00	3,00	3,00
	Máximo	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	5,00
Ac	Média	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
	Desvio padrão	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	Mínimo	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	Máximo	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
pH	Média	5,22	5,24	5,33	5,62	5,45	5,09
	Desvio padrão	0,12	0,07	0,16	0,08	0,16	0,05
	Mínimo	5,10	5,18	5,20	5,53	5,28	5,04
	Máximo	5,33	5,32	5,51	5,67	5,60	5,13
H	Média	79,91	85,68	81,26	83,28	79,69	81,87
	Desvio padrão	3,42	8,74	4,65	2,66	4,39	3,16
	Mínimo	77,15	75,59	77,83	81,25	75,96	78,24
	Máximo	83,73	90,96	86,56	86,29	84,53	83,98
IE	Média	30,25	31,80	33,16	32,11	34,61	34,94
	Desvio padrão	6,22	7,01	5,13	3,29	4,91	5,14
	Mínimo	24,14	27,20	29,88	29,06	31,26	29,73
	Máximo	36,58	39,87	39,06	35,60	40,24	40,01

Tabela 14 – Medidas descritivas dos atributos físico-químicos e sensoriais referentes ao tratamento amido 3% (continuação da Tabela 13)

Atributos	Medidas descritivas	Tempo (dias)					
		0	3	6	9	12	15
Cr	Média	19,59	20,29	20,35	20,47	20,37	21,17
	Desvio padrão	1,88	1,88	0,90	0,62	1,12	1,50
	Mínimo	17,50	19,21	19,62	19,83	19,08	19,52
	Máximo	21,14	22,46	21,35	21,06	21,08	22,47
Ap	Média	6,78	7,12	6,43	6,62	6,37	1,00
	Desvio padrão	1,91	1,42	1,93	1,84	2,03	0,01
	Mínimo	1,00	3,00	2,00	2,00	1,00	1,00
	Máximo	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	1,00
Cor	Média	7,00	7,18	6,49	6,62	6,27	1,00
	Desvio padrão	1,67	1,25	1,79	1,79	2,12	0,01
	Mínimo	1,00	3,00	2,00	2,00	1,00	1,00
	Máximo	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	1,00
Ar	Média	6,82	6,82	5,78	5,42	5,45	1,00
	Desvio padrão	1,64	1,62	1,62	1,77	2,04	0,01
	Mínimo	3,00	2,00	3,00	2,00	1,00	1,00
	Máximo	9,00	9,00	10,01	9,00	9,00	1,00
IG	Média	6,68	6,95	6,20	6,24	6,12	1,00
	Desvio padrão	1,66	1,58	1,85	2,02	2,05	0,01
	Mínimo	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00
	Máximo	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	1,00
IC	Média	3,44	3,62	3,18	3,40	3,14	1,00
	Desvio padrão	1,16	1,15	0,99	1,05	1,24	0,01
	Mínimo	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Máximo	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	1,00

Tabela 15 – Medidas descritivas dos atributos físico-químicos e sensoriais referentes ao tratamento gelatina 1%

Atributos	Medidas descritivas	Tempo (dias)					
		0	3	6	9	12	15
L	Média	76,13	76,37	75,67	76,40	72,23	74,83
	Desvio padrão	3,07	3,47	3,83	3,72	5,20	4,75
	Mínimo	72,70	72,70	71,40	72,10	66,40	69,40
	Máximo	78,60	79,60	78,80	78,60	76,40	78,20
a*	Média	1,45	1,99	3,26	2,07	2,47	2,90
	Desvio padrão	2,10	2,59	2,37	1,36	1,01	1,57
	Mínimo	-0,25	0,50	1,60	1,00	1,40	1,80
	Máximo	3,80	4,98	5,97	3,60	3,40	4,70
b*	Média	19,47	20,10	20,01	20,33	20,20	20,93
	Desvio padrão	1,74	1,56	0,50	0,61	1,13	1,50
	Mínimo	17,50	19,20	19,50	19,80	18,90	19,40
	Máximo	20,80	21,90	20,50	21,00	20,90	22,40
SS	Média	3,33	3,33	3,67	5,17	3,67	5,00
	Desvio padrão	0,29	1,61	0,58	0,58	0,58	0,01
	Mínimo	3,00	1,50	3,00	4,50	3,00	5,00
	Máximo	3,50	4,50	4,00	5,50	4,00	5,00
Ac	Média	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
	Desvio padrão	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	Mínimo	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	Máximo	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02

Tabela 16 – Medidas descritivas dos atributos físico-químicos e sensoriais referentes ao tratamento gelatina 1% (continuação da Tabela 15)

Atributos	Medidas descritivas	Tempo (dias)					
		0	3	6	9	12	15
pH	Média	5,05	5,36	5,19	5,64	5,36	4,97
	Desvio padrão	0,03	0,29	0,23	0,05	0,04	0,06
	Mínimo	5,01	5,16	4,92	5,60	5,33	4,93
	Máximo	5,07	5,70	5,34	5,70	5,41	5,03
H	Média	86,06	84,74	80,92	84,22	83,02	82,11
	Desvio padrão	5,77	6,54	6,27	3,81	2,82	4,20
	Mínimo	79,65	77,19	73,76	79,89	80,72	77,38
	Máximo	90,82	88,51	85,43	87,11	86,17	85,41
IE	Média	35,82	34,67	38,37	35,03	38,18	42,49
	Desvio padrão	3,47	4,64	5,15	2,06	5,69	6,18
	Mínimo	32,52	29,35	32,43	32,96	33,67	37,38
	Máximo	39,45	37,86	41,62	37,09	44,58	49,35
Cr	Média	20,62	21,14	21,83	21,96	21,76	22,30
	Desvio padrão	0,97	0,50	1,33	0,78	0,78	0,50
	Mínimo	19,55	20,62	20,32	21,22	20,87	21,81
	Máximo	21,44	21,61	22,85	22,77	22,35	22,80
Ap	Média	6,46	6,00	6,55	6,24	5,72	1,00
	Desvio padrão	2,14	1,98	1,51	2,08	2,22	0,01
	Mínimo	1,00	2,00	4,00	1,00	1,00	1,00
	Máximo	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	1,00
Cor	Média	6,10	6,14	6,57	6,29	5,72	1,00
	Desvio padrão	2,26	1,76	1,49	1,81	2,24	0,01
	Mínimo	1,00	2,00	4,00	2,00	1,00	1,00
	Máximo	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	1,00
Ar	Média	6,50	5,89	6,43	6,06	5,90	1,00
	Desvio padrão	1,71	1,47	1,45	1,72	1,96	0,01
	Mínimo	2,00	2,00	5,00	2,00	1,00	1,00
	Máximo	9,00	9,00	10,01	9,00	9,00	1,00
IG	Média	6,42	6,11	6,41	6,17	5,96	1,00
	Desvio padrão	1,87	1,85	1,69	1,81	2,01	0,01
	Mínimo	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Máximo	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	1,00
IC	Média	3,36	3,09	3,24	3,24	2,94	1,00
	Desvio padrão	1,24	1,07	1,11	1,13	1,22	0,01
	Mínimo	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Máximo	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	1,00

Tabela 17 – Medidas descritivas dos atributos físico-químicos e sensoriais referentes ao tratamento gelatina 3%

Atributos	Medidas descritivas	Tempo (dias)					
		0	3	6	9	12	15
L	Média	72,30	74,27	72,77	76,53	72,07	67,37
	Desvio padrão	3,50	4,99	3,31	2,20	8,11	8,97
	Mínimo	68,30	70,40	70,20	74,00	62,80	57,80
	Máximo	74,80	79,90	76,50	78,00	77,90	75,60
a*	Média	3,70	2,43	4,35	2,57	3,60	3,07
	Desvio padrão	0,95	2,56	1,33	0,93	2,65	1,10
	Mínimo	3,10	-0,50	2,95	1,80	1,60	2,00
	Máximo	4,80	4,20	5,60	3,60	6,60	4,20

Tabela 18 – Medidas descritivas dos atributos físico-químicos e sensoriais referentes ao tratamento gelatina 3% (continuação da Tabela 17)

Atributos	Medidas descritivas	Tempo (dias)					
		0	3	6	9	12	15
b*	Média	20,27	20,90	21,37	21,80	21,33	22,07
	Desvio padrão	0,95	0,52	1,17	0,82	1,33	0,61
	Mínimo	19,30	20,30	20,10	21,10	19,80	21,40
	Máximo	21,20	21,20	22,40	22,70	22,20	22,60
SS	Média	3,00	3,00	3,67	3,83	3,67	4,33
	Desvio padrão	0,50	0,50	0,76	0,76	0,58	0,29
	Mínimo	2,50	2,50	3,00	3,00	3,00	4,00
	Máximo	3,50	3,50	4,50	4,50	4,00	4,50
Ac	Média	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	Desvio padrão	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	Mínimo	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	Máximo	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02
pH	Média	5,07	5,19	5,07	5,56	5,39	4,96
	Desvio padrão	0,12	0,06	0,06	0,16	0,08	0,01
	Mínimo	4,97	5,15	5,03	5,38	5,31	4,95
	Máximo	5,20	5,25	5,13	5,68	5,46	4,96
H	Média	79,66	83,37	78,59	83,26	80,24	82,06
	Desvio padrão	2,58	6,95	3,09	2,50	7,62	3,00
	Mínimo	76,70	78,79	75,47	80,54	71,57	78,90
	Máximo	81,42	91,36	81,65	85,47	85,84	84,85
IE	Média	29,60	28,84	47,09	45,13	44,14	42,49
	Desvio padrão	4,75	1,12	1,21	6,25	13,38	6,17
	Mínimo	26,15	27,79	46,36	39,22	34,73	37,38
	Máximo	35,02	30,01	48,49	51,67	59,46	49,35
Cr	Média	19,38	19,75	23,70	22,16	22,74	22,30
	Desvio padrão	1,20	0,31	0,13	1,56	1,77	0,50
	Mínimo	18,00	19,39	23,56	21,05	21,03	21,81
	Máximo	20,16	19,96	23,82	23,95	24,57	22,80
Ap	Média	6,92	5,88	6,41	5,46	5,00	1,00
	Desvio padrão	1,79	2,09	1,81	2,60	2,15	0,01
	Mínimo	2,00	1,00	3,00	1,00	1,00	1,00
	Máximo	9,00	9,00	10,01	9,00	9,00	1,00
Cor	Média	7,08	6,04	6,43	5,58	5,10	1,00
	Desvio padrão	1,71	1,94	1,85	2,37	2,20	0,01
	Mínimo	2,00	1,00	3,00	1,00	1,00	1,00
	Máximo	9,00	9,00	10,01	9,00	9,00	1,00
Ar	Média	6,64	5,89	5,92	5,36	5,40	1,00
	Desvio padrão	1,72	1,55	1,65	1,85	1,69	0,01
	Mínimo	2,00	2,00	3,00	1,00	1,00	1,00
	Máximo	9,00	9,00	10,01	9,00	9,00	1,00
IG	Média	6,94	5,95	6,18	5,20	5,18	1,00
	Desvio padrão	1,68	1,96	1,95	2,35	1,91	0,01
	Mínimo	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00
	Máximo	9,00	9,00	10,01	9,00	9,00	1,00
IC	Média	3,48	2,89	3,12	2,80	2,74	1,00
	Desvio padrão	1,05	1,19	1,26	1,32	1,23	0,01
	Mínimo	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Máximo	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	1,00

Figura 12 – Gráficos *Box-plot* dos atributos físico-químicos e sensoriais de acordo com o tempo referentes ao tratamento controle

Figura 13 – Gráficos *Box-plot* dos atributos físico-químicos e sensoriais de acordo com o tempo referentes ao tratamento controle (continuação da Figura 12)

Figura 14 – Gráficos *Box-plot* dos atributos físico-químicos e sensoriais de acordo com o tempo referentes ao tratamento controle (continuação da Figura 12)

Figura 15 – Gráficos *Box-plot* dos atributos físico-químicos e sensoriais de acordo com o tempo referentes ao tratamento controle ácido

Figura 16 – Gráficos *Box-plot* dos atributos físico-químicos e sensoriais de acordo com o tempo referentes ao tratamento controle ácido (continuação da Figura 15)

(k)

(l)

(m)

(n)

Figura 17 – Gráficos *Box-plot* dos atributos físico-químicos e sensoriais de acordo com o tempo referentes ao tratamento controle ácido (continuação da Figura 15)

(a)

(b)

Figura 18 – Gráficos *Box-plot* dos atributos físico-químicos e sensoriais de acordo com o tempo referentes ao tratamento amido 1%

Figura 19 – Gráficos *Box-plot* dos atributos físico-químicos e sensoriais de acordo com o tempo referentes ao tratamento amido 1% (continuação da Figura 18)

(i)

(j)

(k)

(l)

(m)

(n)

Figura 20 – Gráficos *Box-plot* dos atributos físico-químicos e sensoriais de acordo com o tempo referentes ao tratamento amido 1% (continuação da Figura 18)

Figura 21 – Gráficos *Box-plot* dos atributos físico-químicos e sensoriais de acordo com o tempo referentes ao tratamento amido 3%

(g)

(h)

(i)

(j)

(k)

(l)

Figura 22 – Gráficos *Box-plot* dos atributos físico-químicos e sensoriais de acordo com o tempo referentes ao tratamento amido 3% (continuação da Figura 21)

Figura 23 – Gráficos *Box-plot* dos atributos físico-químicos e sensoriais de acordo com o tempo referentes ao tratamento amido 3% (continuação da Figura 21)

Figura 24 – Gráficos *Box-plot* dos atributos físico-químicos e sensoriais de acordo com o tempo referentes ao tratamento gelatina 1%

(e)

(f)

(g)

(h)

(i)

(j)

Figura 25 – Gráficos *Box-plot* dos atributos físico-químicos e sensoriais de acordo com o tempo referentes ao tratamento gelatina 1% (continuação da Figura 24)

Figura 26 – Gráficos *Box-plot* dos atributos físico-químicos e sensoriais de acordo com o tempo referentes ao tratamento gelatina 1% (continuação da Figura 24)

Figura 27 – Gráficos *Box-plot* dos atributos físico-químicos e sensoriais de acordo com o tempo referentes ao tratamento gelatina 3%

(c)

(d)

(e)

(f)

(g)

(h)

Figura 28 – Gráficos *Box-plot* dos atributos físico-químicos e sensoriais de acordo com o tempo referentes ao tratamento gelatina 3% (continuação da Figura 27)

Figura 29 – Gráficos *Box-plot* dos atributos físico-químicos e sensoriais de acordo com o tempo referentes ao tratamento gelatina 3% (continuação da Figura 24)

Nas Figuras de 12 a 29, nota-se a presença de variabilidade nos atributos dentro e entre os tempos, o que poderia caracterizar possível heterogeneidade nos tratamentos. Porém, esse fato não influencia na aplicação do método *SheNon*, pois este não tem homogeneidade de variâncias como pressuposição, uma vez que herda a versatilidade da ACP. Observa-se,

também, que os atributos formam um agrupamento no tempo em dois “grupos”, sendo o primeiro composto pelos tempos 0, 3 e 6 e o outro pelos tempos 9, 12 e 15 (Figuras 12 (a), (b), (c), (d), (e), (f), (g), (h), (i), (j), (k), (l), (m) e (n) a 29 (a), (b), (c), (d), (e), (f), (g), (h), (i), (j), (k), (l), (m) e (n)). Os atributos L, H e cor têm suas propriedades diminuídas com o passar do tempo, os atributos a^* , b^* , pH, cromaticidade, sólidos solúveis, índice de escurecimento, aparência, aroma, índice global e intenção de compra diminuiram ao longo tempo e, finalmente, tem-se o atributo acidez, que não apresenta grandes alterações com o decorrer do tempo.

No tempo 15, os atributos sensoriais apresentaram-se todos com notas mínimas. Essas notas iguais a um decorrem da impossibilidade de se medir esses atributos no tempo 15 devido a sua deterioração. Deste modo, como as notas para estes atributos são todas iguais, o gráfico *box-plot* é representado somente por uma linha, o que se repete para todos os tratamentos).

No contexto de dados experimentais e, portanto, diante de amostras de vários tratamentos, uma maneira de prever tempo de vida útil de um alimento seria a aplicação individual do método *SheNon*.

Deste modo, deu-se início aos passos, descritos no capítulo 2, para a predição do tempo de vida útil da berinjela por meio do método *SheNon*. Na Tabela 19, são apresentadas as correlações da variável tempo com os componentes principais, o valor de p para avaliar a significância e suas respectivas variâncias explicadas pelos CP, considerando o tratamento controle.

Tabela 19 – Coeficiente de correlação dos componentes principais, significância das correlações e variabilidade explicada, para o tratamento controle

Componentes	Correlação	Significância	Variabilidade explicada
1	0,924	0,008	0,757
2	-0,043	0,935	0,128
3	0,126	0,812	0,069
4	-0,087	0,870	0,043
5	0,348	0,499	0,004
6	0,024	0,963	0,000

Observando a Tabela 19, verifica-se que os componentes 1 e 3 apresentaram, simultaneamente, a maior correlação com o tempo e variabilidade explicada superior a 5%, satisfazendo os critérios do método *SheNon*. Deste modo, esse dois componentes serão utilizados no processo de determinação do tempo de vida útil da berinjela minimamente processada controle.

Na Figura 30 (a), por meio dos tempos projetados, verifica-se que o envelhecimento da berinjela minimamente processada se dá ao longo do CP1, uma vez que esta apresenta maior correlação com tempo. A Figura 30 (b) mostra que os atributos sensoriais aroma, aparência, cor, IG, IC, L, H, pH e acidez estão relacionados com o produto fresco, e a^* , b^* , SS, IE e cromaticidade estão relacionados com o envelhecimento do produto. Esse resultado, também, pode ser observado na Tabela 20, que apresenta a correlação dos atributos com os CP1 e CP3.

Figura 30 – Componentes principais 1 e 3 dos espaço de produtos (escores) (a); e espaço de variáveis (*loadings*) (b), juntamente com as correlações com o tempo para o tratamento controle

Na Tabela 20, nota-se que os valores positivos de *loadings* do CP1 foram obtidos para os atributos em que os valores numéricos aumentam com o decorrer do tempo, enquanto que o contrário foi verificado para aqueles cujos valores decrescem com o tempo. Uma vez que o CP1 é responsável pela passagem do tempo e, com isso, todas as variáveis tempo-dependentes variam nele e o CP3 é explicado basicamente pelo pH (apresenta maior correlação).

Tabela 20 – Coeficiente de correlação dos atributos com os componentes principais 1 e 3, para o tratamento controle

Componentes	Atributos						
	L	a*	b*	SS	Ac	pH	H
PC1	0,82	0,99	0,89	0,97	0,61	0,11	0,99
PC3	0,56	0,01	-0,44	-0,23	0,79	0,99	0,07

Componentes	Atributos						
	IE	Cr	Ap	Cor	Ar	IG	IC
PC1	0,99	0,58	0,98	0,99	0,98	0,98	0,99
PC3	-0,10	-0,81	0,01	-0,01	-0,18	-0,18	0,06

A Figura 31 apresenta o modelo de regressão linear ajustado ($\hat{Y} = 7,50 + 1,59E_1 + 0,72E_2$), o gráfico do modelo e o coeficiente de determinação, $R^2 = 86,94\%$. Após o ajuste, verificou-se, por meio do teste de significância dos parâmetros e análise de resíduos, Figura 32, que o modelo se ajustou de modo adequado aos dados. Assim, foi utilizado para a predição do tempo de vida útil da berinjela minimamente processada sem adição de conservantes. O tempo de vida útil predito pelo método *SheNon* encontra-se na Tabela 31.

Figura 31 – Modelo de regressão linear múltiplo ajustado para predizer o tempo de vida útil da berinjela minimamente processada sob o tratamento controle

Figura 32 – Envelope simulado para diagnóstico da qualidade do modelo ajustado para a predição de tempo de vida útil da berinjela minimamente processada sem adição de conservantes

A seguir, são apresentados os resultados referentes às berinjelas submetidas ao tratamento controle ácido. Na Tabela 21, são expostas as correlações dos componentes com o tempo, os valores de p , para verificar a significância das correlações, e as variabilidades explicadas.

Tabela 21 – Coeficiente de correlação dos componentes principais, significância das correlações e variabilidade explicada, tratamento controle ácido

Componentes	Correlação	Significância	Variabilidade explicada
1	0,900	0,015	0,527
2	-0,320	0,536	0,212
3	0,190	0,719	0,140
4	-0,094	0,860	0,106
5	-0,207	0,694	0,016
6	0,755	0,082	0,000

Observando a Tabela 21, nota-se que os componentes que têm a maior correlação com

o tempo e a variabilidade explicada maior que 5%, simultaneamente, são os componentes 1 e 2. Assim, estes componentes serão utilizados para as demais análises, de acordo com as condições do método *SheNon* descritas na seção 2.2.

Na Figura 33 (a), por meio dos tempos projetados, verifica-se o envelhecimento da berinjela minimamente processada ao longo do CP1, pois este tem maior correlação com tempo. Na Figura 33 (b), observa-se que os atributos sensoriais aroma, aparência, cor, IG, IC, L, H, pH e acidez estão relacionados com o produto fresco e a^* , b^* , SS, IE e cromaticidade estão relacionados com o envelhecimento do produto. Na Tabela 22, esses resultados também podem ser encontrados, visto que essa expõe a correlação dos atributos com os componentes selecionados.

Figura 33 – Componentes principais 1 e 2 dos espaço de produtos (escores) (a); e espaço de variáveis (*loadings*) (b), juntamente com as correlações com o tempo para o tratamento controle ácido

Por meio da Tabela 22, verifica-se que os valores positivos de *loadings* do componente 1 foram obtidos para os atributos nos quais os valores numéricos aumentam com o passar do tempo, e o contrário foi verificado para aqueles cujos valores decrescem com o tempo, pois os atributos tempo-dependentes variam no componente 1. Enquanto, o componente 2 explicado, praticamente, pelos atributos sólidos solúveis, pH e acidez, visto que apresentam as maiores correlações.

Tabela 22 – Coeficiente de correlação dos atributos com os componentes principais 1 e 2, para o tratamento controle ácido

Componentes	Atributos						
	L	a*	b*	SS	Ac	pH	H
PC1	0,86	0,53	0,93	0,22	0,07	0,17	0,53
PC2	-0,49	-0,84	-0,37	-0,97	-0,99	0,98	-0,84

Componentes	Atributos						
	IE	Cr	Ap	Cor	Ar	IG	IC
PC1	0,99	0,99	0,95	0,96	0,95	0,95	0,95
PC2	-0,06	0,01	0,30	0,24	0,30	0,28	0,30

O modelo ajustado ($\hat{Y} = 7,50 + 1,86E_1 - 1,04E_2$), juntamente ao seu gráfico e ao coeficiente de determinação ($R^2 = 91,24\%$), são apresentados na Figura 34. Verificou-se um bom ajuste do modelo aos dados por meio da significância dos parâmetros, R^2 e análise de resíduos (Figura 35). Vista a adequação do modelo aos dados, este foi empregado no método *SheNon* para prever o tempo de vida útil da berinjela minimamente processada que recebeu o tratamento controle ácido, Tabela 31.

Figura 34 – Modelo de regressão linear múltiplo ajustado para prever o tempo de vida útil da berinjela minimamente processada sob o tratamento controle ácido

Figura 35 – Envelope simulado para diagnóstico da qualidade do modelo ajustado para a predição de tempo de vida útil da berinjela minimamente processada tratada com ácido

Os resultados obtidos da análise realizada para a berinjela minimamente processada tratada com amido 1% são apresentados a seguir. A correlação entre os componentes, sua significância e suas respectivas variâncias explicadas são exibidas na Tabela 23.

Tabela 23 – Coeficiente de correlação dos componentes principais e variabilidade explicada, tratamento amido 1%

Componentes	Correlação	Significância	Variabilidade explicada
1	0,828	0,042	0,531
2	-0,382	0,455	0,239
3	0,008	0,988	0,125
4	0,134	0,800	0,090
5	-0,388	0,447	0,015
6	-0,729	0,100	0,000

Os componentes selecionados, de acordo com os critérios do método *Shenon* (apresentam maior correlação com o tempo e com a variabilidade explicada superior a 5%

simultaneamente), foram os CP1 e CP2, sendo estes os que compõem as demais análises.

Por meio dos tempos projetados, verifica-se o envelhecimento da berinjela minimamente processada ao longo do CP1, pois sua correlação com o tempo é maior, Figura 36 (a). Os atributos sensoriais aroma, aparência, cor, IG, IC, L, H, pH e acidez estão relacionados com o produto fresco, e a^* , b^* , SS, IE e cromaticidade estão relacionados com o envelhecimento do produto, Figura 36 (b). Isso pode ser observado, também, na Tabela 24 que apresenta a correlação dos atributos com os CP1 e CP2.

Figura 36 – Componentes principais 1 e 2 dos espaço de produtos (escores) (a); e espaço de variáveis (*loadings*) (b), juntamente com as correlações com o tempo para o tratamento amido 1%

O mesmo comportamento dos atributos apresentado na Figura 36 (b) para o componente 1 foi observado na Tabela 24. Isto é, para os atributos em que os valores numéricos aumentam no tempo, os *loadings* são positivos e, para os que diminuem, são negativos. Em relação ao componente 2, este pode ser explicado pela acidez e pH, uma vez que estes atributos apresentam, com ele, a maior correlação.

Tabela 24 – Coeficiente de correlação dos atributos com os componentes principais 1 e 2, para o tratamento com amido 1%

Componentes	Atributos						
	L	a^*	b^*	SS	Ac	pH	H
PC1	0,83	0,53	0,48	0,75	0,24	0,01	0,57
PC2	-0,56	-0,85	-0,88	-0,66	0,97	-0,99	-0,82
Componentes	Atributos						
	IE	Cr	Ap	Cor	Ar	IG	IC
PC1	0,80	0,98	0,85	0,86	0,96	0,88	0,85
PC2	-0,59	-0,18	0,53	0,51	0,27	0,46	0,53

O modelo de regressão linear ajustado ($\hat{Y} = 7,50 + 1,70E_1 - 1,17E_2$) em companhia de seu gráfico e coeficiente de determinação ($R^2 = 80,64\%$) são apresentados na Figura 37. Após a avaliação da qualidade do modelo ajustado (R^2 , significância dos parâmetros e análise de resíduos, Figura 38), foi utilizado, via método *SheNon*, para prever o tempo de vida útil da berinjela minimamente processada tratada com amido 1%, Tabela 31.

Figura 37 – Modelo de regressão linear múltiplo ajustado para prever o tempo de vida útil da berinjela minimamente processada sob o tratamento amido 1%

Figura 38 – Envelope simulado para diagnóstico da qualidade do modelo ajustado para a predição de tempo de vida útil da berinjela minimamente processada tratada com amido 1%

Os resultados a seguir referem-se às análises da berinjela minimamente processada exposta ao tratamento com amido a 3%. A Tabela 25 apresenta as correlações do tempo com os componentes principais, a significância dessas correlações e suas respectivas variâncias explicadas. Observando os resultados apresentados (Tabela 25), verifica-se que os componentes 1 e 3 atendem às especificações do método *SheNon* (maior correlação com o tempo e variabilidade explicada superior a 5%). Deste modo, esses componentes foram utilizados para determinação do tempo de vida útil predito.

Tabela 25 – Coeficiente de correlação dos componentes principais e variabilidade explicada, tratamento amido 3%

Componentes	Correlação	Significância	Variabilidade explicada
1	0,792	0,060	0,586
2	0,024	0,964	0,204
3	-0,555	0,253	0,132
4	-0,179	0,734	0,048
5	-0,181	0,731	0,030
6	0,112	0,832	0,000

A berinjela minimamente processada tratada com amido 3% apresentou seu envelhecimento ao longo do CP1, uma vez que este tem maior correlação com tempo (Figura 39 (a)). Observando a Figura 39 (b), nota-se que os atributos sensoriais aroma, aparência, cor, IG, IC, H e pH estão relacionados com o produto fresco, e L, a*, b*, SS, IE, acidez e cromaticidade estão relacionados com o envelhecimento do produto. Isso pode ser observado na Tabela 26, que apresenta a correlação dos atributos com os CP1 e CP3.

Figura 39 – Componentes principais 1 e 3 dos espaço de produtos (escores) (a); e espaço de variáveis (*loadings*) (b), juntamente com as correlações com o tempo para o tratamento amido 3%

A Tabela 26 indica que os valores positivos da correlação dos atributos com o componente principal 1 foram obtidos para os atributos em que os valores numéricos aumentam no tempo, e o contrário foi observado para aqueles em que os valores decrescem com o tempo, pois o componente 1 é responsável pela passagem do tempo, enquanto o componente 3 é explicado quase inteiramente pelo pH.

Tabela 26 – Coeficiente de correlação dos atributos com os componentes principais 1 e 3, para o tratamento com amido 3%

Componentes	Atributos						
	L	a*	b*	SS	Ac	pH	H
PC1	0,55	0,65	0,64	0,704	0,43	0,26	0,38
PC3	0,83	-0,76	-0,76	-0,71	0,90	0,96	-0,92

Componentes	Atributos						
	IE	Cr	Ap	Cor	Ar	IG	IC
PC1	0,67	0,78	0,97	0,99	0,97	0,99	0,98
PC3	-0,74	-0,61	0,20	0,13	-0,23	0,11	0,15

Na Figura 40, são expostos a equação do modelo de regressão linear ajustada ($\hat{Y} = 7,50 + 1,55E_1 - 2,28E_3$), o gráfico do modelo ajustado e o coeficiente de determinação ($R^2 = 93,46\%$). Ao término do ajuste, avaliou-se a qualidade do modelo observando-se que este se ajustava de modo conveniente aos dados como pode ser visto pelo R^2 , teste de significância dos parâmetros e análise de resíduos (Figura 41). Assim, o modelo pôde ser utilizado para predição do tempo de vida útil da berinjela tratada com amido 3%, exposto na Tabela 31.

Figura 40 – Modelo de regressão linear múltiplo ajustado para prever o tempo de vida útil da berinjela minimamente processada sob o tratamento amido 3%

Figura 41 – Envelope simulado para diagnóstico da qualidade do modelo ajustado para a predição de tempo de vida útil da berinjela minimamente processada tratada com amido 3%.

O resultado das análises referentes à berinjela minimamente processada submetida ao tratamento com gelatina a 1% é apresentado a seguir. As correlações da variável tempo com os componentes principais, a significância das correlações e a variabilidade explicada por cada componente são expressas na Tabela 27. De acordo com o método *Shenon*, deve-se escolher os dois componentes que apresentam maior correlação com o tempo e, simultaneamente, variabilidade explicada superior a 5%. Deste modo, os componentes 1 e 2 foram retidos para a continuidade das análises.

Tabela 27 – Coeficiente de correlação dos componentes principais e variabilidade explicada, tratamento gelatina 1%

Componentes	Correlação	Significância	Variabilidade explicada
1	0,801	0,055	0,610
2	-0,521	0,290	0,175
3	0,065	0,903	0,124
4	-0,287	0,581	0,073
5	0,009	0,986	0,018
6	-0,920	0,009	0,000

A projeção do tempo em função do CP1, Figura 42 (a), retrata o envelhecimento da berinjela minimamente processada ao longo do CP1, pois esta apresenta maior correlação com tempo. Os atributos sensoriais aroma, aparência, cor, IG, IC, L, H, pH e estão relacionados com o produto fresco, e a^* , b^* , SS, IE, acidez e cromaticidade estão relacionados com o envelhecimento do produto, como pode ser observado na Figura 28 (b). Essa mesma interpretação pode ser vista na Tabela 28, que apresenta a correlação dos atributos com os CP1 e CP2.

Figura 42 – Componentes principais 1 e 2 dos espaço de produtos (escores) (a); e espaço de variáveis (*loadings*) (b), juntamente com as correlações com o tempo para o tratamento gelatina 1%

Por meio da Tabela 28, constata-se que os valores positivos das correlações foram obtidos para os atributos que têm seus valores numéricos aumentando com o tempo, enquanto que o contrário foi verificado para aquelas cujos valores decrescem, isso em relação ao componente 1. Para o componente 2, verifica-se que este pode ser explicado pelos atributos L^* , acidez e pH.

Tabela 28 – Coeficiente de correlação dos atributos com os componentes principais 1 e 2, para o tratamento gelatina 1%

Componentes	Atributos						
	L	a*	b*	SS	Ac	pH	H
PC1	0,45	0,62	0,78	0,57	0,42	0,33	0,56
PC2	-0,89	-0,78	-0,61	-0,81	0,90	0,94	-0,82

Componentes	Atributos						
	IE	Cr	Ap	Cor	Ar	IG	IC
PC1	0,99	0,51	0,93	0,90	0,94	0,93	0,95
PC2	0,07	-0,85	0,34	0,42	0,32	0,35	0,29

Ajustou-se um modelo de regressão linear considerando os dois componentes selecionados. A equação do modelo ajustado ($\hat{Y} = 7,50 + 1,54E_1 - 1,86E_2$) com seu respectivo gráfico e coeficiente de determinação ($R^2 = 91,33\%$) é apresentado na Figura 43. O modelo apresentou-se adequado para descrever os dados (R^2 , teste de significância dos parâmetros e análise de resíduos Figura 44), e deste modo, foi utilizado para predição do tempo de vida útil da berinjela tratada com gelatina 1%. O valor predito é exposto na Tabela 31.

Figura 43 – Modelo de regressão linear múltiplo ajustado para prever o tempo de vida útil da berinjela minimamente processada sob o tratamento gelatina 1%

Figura 44 – Envelope simulado para diagnóstico da qualidade do modelo ajustado para a predição de tempo de vida útil da berinjela minimamente processada tratada com gelatina 1%

A seguir, são expostos os resultados encontrados para a berinjela minimamente processada submetida ao tratamento com gelatina a 5%. A correlação entre o tempo e os componentes principais, sua significância e a variabilidade explicada por cada componente são mostrados na Tabela 29.

Tabela 29 – Coeficiente de correlação dos componentes principais e variabilidade explicada, tratamento gelatina 3%

Componentes	Correlação	Significância	Variabilidade explicada
1	0,875	0,023	0,549
2	-0,221	0,674	0,216
3	-0,323	0,532	0,197
4	-0,166	0,753	0,033
5	-0,232	0,658	0,005
6	-0,212	0,687	0,000

Observando os valores das correlações e a variabilidade explicada pelos componentes

principais, extraí-se os componentes 1 e 3, visto que apresentam maior correlação com o tempo bem como as maiores variabilidades explicadas, conforme sugere o método *SheNon*.

Nota-se o envelhecimento da berinjela minimamente processada ao longo do CP1, componente mais correlacionado com o tempo, Figura 45 (a). Na Figura 45 (b), observa-se que os atributos sensoriais aroma, aparência, cor, IG, IC, L, a^* e pH estão relacionados com o produto fresco e acidez, b^* , SS, H, IE e cromaticidade estão relacionados com o envelhecimento do produto. O comportamento dos atributos ao longo do tempo também pode ser verificado na Tabela 30, que apresenta a correlação deles com os CP1 e CP3.

Figura 45 – Componentes principais 1 e 3 dos espaço de produtos (escores) (a); e espaço de variáveis (*loadings*) (b), juntamente com as correlações com o tempo para o tratamento gelatina 3%

Na Tabela 30, verifica-se que os valores das correlações entre os atributos e o CP1 expressam valores positivos para os atributos que têm valores numéricos aumentando com o tempo e o oposto observa-se para aquelas cujos valores decrescem com o tempo. Em relação ao CP3, este é explicado, quase totalmente, pelos atributos a^* e H, que são componentes da cor.

Tabela 30 – Coeficiente de correlação dos atributos com os componentes principais 1 e 3, para o tratamento gelatina 3%

Componentes	Atributos						
	L	a*	b*	SS	Ac	pH	H
PC1	0,85	0,13	0,79	0,80	0,70	0,37	0,27
PC3	0,51	0,99	-0,60	-0,54	0,71	0,92	0,96

Componentes	Atributos						
	IE	Cr	Ap	Cor	Ar	IG	IC
PC1	0,32	0,33	0,95	0,95	0,95	0,96	0,94
PC3	-0,94	-0,94	0,31	0,28	0,29	0,25	0,32

Um modelo de regressão linear foi ajustado com os dois componentes selecionados. Na Figura 43, é exposta a equação do modelo ajustado ($\hat{Y} = 7,50 + 1,77E_1 - 1,09E_3$) com seu respectivo gráfico e coeficiente de determinação ($R^2 = 86,95\%$). O modelo apresentou-se apropriado para descrever os dados (R^2 , teste de significância dos parâmetros e análise de resíduos Figura 47) e então foi utilizado no método *SheNon* para a predição do tempo de vida útil da berinjela tratada com gelatina 3%. O valor predito é exposto na Tabela 31.

Figura 46 – Modelo de regressão linear múltiplo ajustado para predizer o tempo de vida útil da berinjela minimamente processada tratada com gelatina 3%

Figura 47 – Envelope simulado para diagnóstico da qualidade do modelo ajustado para a predição de tempo de vida útil da berinjela minimamente processada tratada com amido 3%.

Por meio do método *SheNon*, obtiveram-se os tempos de vida útil preditos para a berinjela minimamente processada segundo cada tratamento. Os respectivos tempos preditos e intervalos com 95% de confiança para as predições são apresentados na Tabela 31.

Tabela 31 – Tempos de vida de útil predito para a berinjela minimamente processada de acordo com o tratamento recebido e seus respectivos intervalos de predições

Tratamentos	Tempos preditos	Intervalos de predição
Amido 1%	5,16	(0,00;11,04)
Gelatina 1%	5,28	(0,00;11,01)
Controle ácido	7,42	(1,12;12,00)
Controle	7,58	(2,01;12,00)
Amido 3%	8,48	(2,58;14,30)
Gelatina 3%	8,55	(2,65;14,31)

Observa-se que a berinjela minimamente processada tratada com amido 1% apresenta

o menor tempo de vida útil predito, sendo este de cinco dias, e a tratada com gelatina 3% detém o maior tempo predito, oito dias. Observa-se, de maneira geral, que os tempos preditos pelo método são coerentes com as informações apresentadas nos *box-plot* dos atributos (Figuras de 12 a 29), uma vez que a separação dos “grupos” ocorre entre os tempos seis e nove.

Com o objetivo de verificar qual ou quais tratamentos são mais eficazes na conservação da berinjela minimamente processada, aplicou-se o método *SheNon* para dados com estrutura experimental, descrito na seção 3.3. Uma vez os tratamentos ordenados pelos tempos preditos, foram criados contrastes entre cada tratamento e todos os superiores a ele. Por exemplo, o amido 1% foi contrastado com todos os demais; A gelatina 1% foi contrastada apenas com controle ácido, controle, amido 3% e gelatina 3% e assim por diante.

Vale ressaltar que as DMS (diferenças mínimas significativas) de bootstrap são individuais para cada contraste, portanto, todos os contrastes realizados são necessários. Os resultados para cada contraste são apresentados na Tabela 32 e na Figura 48.

Tabela 32 – Contrastes para realização do teste de Bootstrap

Contrastes	Diferenças amostrais	DMS de bootstrap
Amido 1% e Gelatina 1%	0,13	5,60
Amido 1% e Controle ácido	1,85	4,67
Amido 1% e Controle	2,27	3,47
Amido 1% e Amido 3%	3,32	5,98
Amido 1% e Gelatina 3%	3,38	5,15
Gelatina 1% e Controle ácido	1,73	5,45
Gelatina 1% e Controle	2,30	3,65
Gelatina 1% e Amido 3%	3,19	6,64
Gelatina 1% e Gelatina 3%	3,26	5,19
Controle ácido e Controle	0,57	3,74
Controle ácido e Amido 3%	1,46	5,44
Controle ácido e Gelatina 3%	1,53	4,38
Controle e Amido 3%	0,89	4,23
Controle e Gelatina 3%	0,96	3,42
Amido 3% e Gelatina 3%	0,07	5,30

Na Tabela 32, foram expostas as diferenças amostrais em módulo, que consistem nas diferenças dos tempos preditos dos dois tratamentos considerados no contraste e as DMS de bootstrap calculadas de acordo com o método *SheNon* aplicado a dados com estrutura experimental (seção 3.3).

Figura 48 – Histogramas referentes as frequências das diferenças absolutas obtidas pelo bootstrap

Figura 49 – Histogramas referentes as frequências das diferenças absolutas obtidas pelo bootstrap (continuação da Figura 48)

Figura 50 – Histogramas referentes às frequências das diferenças absolutas obtidas pelo bootstrap (continuação da Figura 48)

Na Figura 48, 49 e 49, foram apresentados os histogramas referentes às frequências das diferenças absolutas obtidas pelo bootstrap. A linha pontilhada em azul refere-se à diferença amostral e, em vermelho, ao quantil superior de 5% da distribuição empírica bootstrap, conforme a legenda de cada gráfico.

Com os resultados apresentados na Tabela 32 e na Figura 48, verificou-se que nenhuma diferença amostral foi superior à DMS de bootstrap levando a não rejeição de H_0 (os tempos preditos pelos tratamentos são iguais). Em outras palavras, os tratamentos não apresentaram diferenças significativas, com um nível de significância de 5%.

De maneira multivariada, os revestimentos aplicados à berinjela minimamente processada não apresentaram diferença nos seus respectivos tempos de vida útil.

No entanto, é de interesse a avaliação de marginais importantes, elencadas por um especialista da área, visto que os consumidores, além de prezarem por qualidade, buscam

produtos com boa aparência para o consumo. O conjunto de atributos responsáveis pela aparência do produto são: impressão global, o índice de escurecimento e a aparência.

Deste modo, embora não haja diferença significativa para o tempo de vida útil predito para a berinjela minimamente processada, vale ressaltar que os tratamentos com gelatina 3% e amido 3% são capazes de manter os atributos por um tempo maior quando comparados com os demais tratamentos. A manutenção dos atributos por um maior período de tempo acarreta uma aceitação do produto pelos consumidores.

4.5 Conclusão

Por meio deste estudo, verificou-se que a utilização do método *SheNon* para dados com estrutura experimental mostrou-se eficiente. Além disso, conclui-se que os tratamentos com amido 3% e gelatina 3% são importantes para aceitação da berinjela minimamente processada, uma vez que apresentam melhores médias em relação aos atributos índice de escurecimento, aparência e impressão global quando comparados com os demais tratamentos, atendendo o objetivo do experimento.

Referências

- ALMEIDA, V. D.; ORTIZ, S. A.; SARON, E. S.; JAIME, S. B. M.; BARBIERI, M. K. Stability of Tomato Puree in Consumer Packages: Sensory Aspects. **Brazilian Journal of Food Technology**. Campinas, v.6, n.2, p. 171-177, 2003.
- AMANATIDOU, A.; SLUMP, R. A.; GORRIS, L. G. M.; SMID, E. J. High oxygen and high carbon dioxide modified atmospheres for shelf-life extension of minimally processed carrots. **Journal of Food Science**. Chicago, v. 65, n. 1, p. 61-66, 2000.
- ANJOS, V. D. A.; ORTIZ, S. A.; SARON, E. S.; JAIME, S. B. M.; BARBIERI, M. K. Estabilidade do Purê de Tomate em Embalagens de Consumo: Aspectos Sensoriais. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v.6, n. 2, p. 171-177, 2003.
- ANTONIOLLI, L. R.; BENEDETTI, B. C.; SOUZA FILHO, M. M.; GARRUTI, D. S.; BORGES, M. F. Shelf life of minimally processed pineapples treated with ascorbic and citric acids. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 3, p. 447-453, 2012.
- ARES, G.; GIMÉNEZ, A.; GÁMBARO, A. Sensory shelf life estimation of minimally processed lettuce considering two stages of consumers decision-making process. **Appetite**. Londres, v. 50, n. 23, p. 529-535, 2008.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: UFLA, 2005. 785p.
- FAMUREWA, J. A. V.; IBIDAPO, P. O.; OLAIFA, Y. Storage Stability of Tomato Paste Packaged in Plastic Bottle and Polythene Stored in Ambient Temperature. **International Journal of Applied Science and Technology**, v. 3, n. 6, p. 34-42, 2013.
- GACULA, M. C. The design of experiments for shelf-life study. **Journal Food Science**, Chicago, v.40, p. 399-403, 1975.

GONÇALVES, G. M.; VIANA, A. P.; BEZERRA NETO, F. V.; PEREIRA, M. G.; PEREIRA, T. N. S. Seleção e herdabilidade na predição de ganhos genéticos em maracujá-amarelo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 42, n. 2, p. 193-198, 2007.

JAIME, S. B. M.; ALVES, R. M. V.; SEGANTINI, E.; ANJOS, V. D. A.; MORI, E. E. E. Estabilidade do molho de tomate em diferentes embalagens de consumo. **Food Science and Technology**. Campinas, v.18, n. 2, p. 193-199, 1998.

MANTILLA, S. P. S.; MANO, S. B.; VITAL, H. C. Modified atmosphere in food preservation. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**. Curitiba, v. 8, n. 4, p. 437-448, 2010.

PRENTICE, C.; SAINZ, R. L. Kinetics of deterioration presented bt vacuum packaged grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) fillets under different refrigeration conditions. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v. 25, n. 1, p. 127-131, 2005.

SPAGNOL, A. W.; PARK, K. J.; SIGRIST, J. M. J. Taxa de respiração de cenouras minimamente processadas e armazenadas em diferentes temperaturas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v. 26, n.3, p. 550-554, 2006.