

DEISE MENEZES RIBEIRO

**EVOLUÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS, REOLÓGICAS E QUÍMICAS
DURANTE O AMADURECIMENTO DA BANANA 'PRATA-ANÃ'**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2006

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

R484e
2006

Ribeiro, Deise Menezes, 1976-
Evolução das propriedades físicas, reológicas e químicas durante o amadurecimento da banana 'prta-anã' / Deise Menezes Ribeiro. – Viçosa : UFV, 2006.
xii, 126f. : il. ; 29cm.

Inclui anexo.

Orientador: Paulo Cesar Corrêa.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 111-116.

1. Banana -. Amadurecimento. 2. Banana – Fisiologia pós-colheita. 3. Banana – Armazenamento. 4. Banana – Qualidade. 5. Colorimetria. I. Universidade Federal de Viçosa.
II. Título.

CDD 22.ed. 634.77268

DEISE MENEZES RIBEIRO

**EVOLUÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS, REOLÓGICAS E QUÍMICAS
DURANTE O AMADURECIMENTO DA BANANA 'PRATA-ANÃ'**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA em 13 de novembro de 2006.

Prof. Dr. Luiz Carlos C. Salomão
(Co-orientador)

Prof. Dr. Ednilton Tavares de Andrade

Prof. Dr. Márcio Arêdes Martins

Dr. Paulo César Afonso Júnior

Prof. Dr. Paulo Cesar Corrêa
(Orientador)

DEDICATÓRIA

A Deus; pela sua graça e misericórdia.

Aos meus pais, Manoel e Graça; pelo amor incondicional.

Ao meu esposo, Levy; pelo amor, companheirismo e incentivo.

Às minhas irmãs, Kelly e Gisele.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser Ele o meu pastor e renovador de minhas forças.

Aos meus pais, pelo amor, incentivo, dedicação e presença constante na minha vida.

Ao meu esposo Levy, pelo amor, companheirismo e dedicação durante os anos de nossa convivência.

Às minhas irmãs, pelo carinho, amizade e incentivo.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), em especial ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de estudos e financiamento do projeto.

Ao professor Paulo César Corrêa, pela excelente orientação e confiança durante estes anos de convivência.

Ao pesquisador Dr. José Aires Ventura, pela indicação da lavoura de banana 'Prata-Anã' no interior do Espírito Santo.

Ao engenheiro agrônomo Fabrício, produtor de bananas 'Prata-Anã', pela gentileza e atenção em ceder a matéria-prima, fundamental para realização deste trabalho.

Ao professor Luiz Carlos Chamhum Salomão, pelas valiosas sugestões e pela confiança em disponibilizar o Laboratório de Análise de

Frutas do Departamento de Fitotecnia, imprescindível à realização das análises químicas.

Ao professor Paulo Roberto Cecon, pelo incentivo, pelo apoio e pela orientação sobre as análises estatísticas.

Ao pesquisador Dr. Paulo César Afonso Júnior e ao professor Ednilton Tavares de Andrade, pelas valiosas sugestões quanto à confecção final desta tese, pelos ensinamentos e amizade.

Ao professor Márcio Arêdes Martins, pelas sugestões durante a defesa.

Ao professor Tetuo Hara, grande mestre e amigo, pelo eterno exercício da arte de ensinar e educar.

Ao professor Evandro de Castro Melo pelo incentivo e amizade.

Aos professores do Departamento de Engenharia Agrícola, pelos conhecimentos transmitidos ao longo do doutorado.

À graduanda Bruna, pela amizade e apoio incondicional durante a condução do trabalho.

Aos graduandos Rodrigo, Fernando, Diana e Camila, pelo carinho, amizade e oportunidade de aprendizado, como participante de sua formação acadêmica.

Às pós-graduandas Danielle e Aline, pelo apoio e preparação inicial para realização das análises químicas.

À amiga Raquel, pelo valioso auxílio na realização das análises químicas.

Aos amigos Ana Paula e Stelito, pela amizade sincera, pelo companheirismo, pelo 'ombro amigo' e muitas risadas.

Aos amigos Osvaldo e André, pela troca de experiências e pelo crescimento mútuo como pesquisadores.

Aos amigos Acácio e Luiz, pela agradável convivência.

Às companheiras de república, Vânia e Aline, pela amizade sincera e momentos de descontração.

Aos amigos da Aliança Bíblica Universitária (ABU-p), a minha eterna gratidão, pela ajuda em conhecer um pouco mais sobre Jesus Cristo, o principal responsável pela força, esperança e perseverança para que este trabalho se tornasse realidade.

Aos meus amados amigos e irmãos da I Igreja Batista de Lavras, pelas orações e carinho.

À Primeira Igreja Batista de Viçosa, em especial ao Ministério Mãos de Cristo, pelo carinho, pelas orações e incentivo nos momentos mais difíceis.

Enfim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste sonho.

BIOGRAFIA

Deise Menezes Ribeiro, filha de Manoel Menezes Ribeiro e Maria das Graças Ribeiro, nasceu no dia 20 de outubro de 1976 em Osasco, São Paulo.

No Parque Infantil do Rochdalle, em Osasco-SP e na Escola Dinâmica de Irecê, Bahia, aprendeu as primeiras lições. Prosseguindo em seus estudos, ainda em Irecê, transferiu-se para o Colégio Cláudio Abílio Aragão, tendo concluído o ensino médio no Colégio Tiradentes da Polícia Militar de Minas Gerais, na cidade de Lavras.

Em 1996, ingressou no Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, graduando-se em janeiro de 2001, quando recebeu a distinção de melhor aluna do curso.

Em fevereiro de 2003, ainda nessa universidade, concluiu o Curso de Mestrado em Ciência dos Alimentos.

Ainda em 2003, iniciou o Curso de Doutorado em Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese em novembro de 2006.

Desde junho de 2006, é funcionária da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), exercendo suas funções na Superintendência Regional do Espírito Santo, em Vitória.

SUMÁRIO

RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. Características do fruto	5
2.2. Condições de armazenamento da banana	6
2.3. Perda de massa	7
2.4. Cor	11
2.4.1. Aspectos gerais sobre cor	11
2.4.2. Determinação objetiva da cor	12
2.5. Textura	16
2.5.1. Aspectos gerais sobre a textura dos frutos	16
2.5.2. Testes para avaliação da textura dos frutos	18
2.6. Açúcares solúveis totais e amido	22
2.7. Cinética dos índices de qualidade	23
3. MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1. Montagem do experimento	26
3.2. Avaliação da cor da casca	28
3.3. Perda de matéria fresca	29
3.4. Determinação do coeficiente de transpiração	29
3.5. Avaliação da textura	30
3.5.1. Avaliação da textura da polpa	31
3.5.2. Avaliação da textura da casca	31
3.5.3. Avaliação da textura do fruto inteiro com casca	32

3.6. Avaliação química	33
3.6.1. Amido e açúcares solúveis totais	33
3.7. Cinética dos índices de qualidade	35
3.8. Análise estatística	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
ETAPA 1 - CARACTERÍSTICAS DOS FRUTOS MANTIDOS A 10, 15, 20 E 25°C DURANTE 10 DIAS DE ARMAZENAMENTO	36
4.1. Mudanças na cor da casca durante o amadurecimento	36
4.1.1. Evolução das coordenadas 'L*', 'a*' e 'b*'	36
4.1.2. Diferença total de cor	52
4.1.2.1. Influência da temperatura na cor da casca	52
4.1.3. Evolução dos índices cromáticos hue, croma e CCI	57
4.2. Perda de matéria fresca	63
4.3. Coeficiente de transpiração	66
4.4. Avaliação da textura	68
4.4.1. Mudanças na firmeza da casca	68
4.4.2. Mudanças na firmeza da polpa	71
4.4.3. Mudanças na firmeza do fruto avaliada pela relaxação	75
4.5. Avaliação do teor de açúcares solúveis e de amido	80
4.6. Correlação entre as variáveis	85
ETAPA 2 - CARACTERÍSTICAS DOS FRUTOS MANTIDOS A 25°C APÓS REFRIGERAÇÃO A 10 E 15°C DURANTE 10 DIAS	87
4.7. Mudanças na cor da casca	87
4.7.1. Evolução das coordenadas 'L*', 'a*' e 'b*'	87
4.7.2. Diferença total de cor	91
4.7.2.1. Influência da temperatura na cor da casca	91
4.7.2.2. Influência do tempo de armazenamento	91
4.7.3. Índices cromáticos: hue (°h), croma (C) e CCI.....	95
4.8. Perda de matéria fresca	100
4.9. Avaliação da textura da polpa e da casca da banana	102
4.10. Avaliação do teor de açúcares solúveis e de amido	105
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	108
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111
ANEXOS.	117

RESUMO

RIBEIRO, Deise Menezes, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Novembro de 2006. **Evolução das propriedades físicas, reológicas e químicas durante o amadurecimento da banana 'Prata-Anã'**. Orientador: Paulo Cesar Corrêa. Co-Orientadores: Luiz Carlos Chamhum Salomão e Paulo Roberto Cecon.

O objetivo do presente trabalho foi estudar a cinética de amadurecimento da banana 'Prata-Anã', colhida em diferentes estádios de desenvolvimento (18, 19 e 20 semanas) e armazenada sob diferentes temperaturas. De cada cacho, coletado aleatoriamente, utilizaram-se apenas a segunda e a terceira pencas, as quais foram divididas em buquês com quatro frutos. O experimento foi conduzido em duas etapas. Na primeira, foram avaliadas as modificações dos frutos, mantidos às temperaturas de 10, 15, 20 e 25°C durante 10 dias, em câmaras do tipo BOD, com umidade relativa variando entre 90 e 95%. Na segunda etapa, os frutos armazenados às temperaturas de 10°C e 15°C, durante 10 dias, foram transferidos para temperatura de 25°C e avaliados até o 6º dia de armazenamento nesta temperatura. Diariamente, para as duas etapas, analisou-se a perda de matéria fresca dos frutos e os mesmos foram submetidos às análises para estudo da cinética do amadurecimento por meio de alterações químicas, da alteração na cor da casca e do amaciamento da polpa, por meio de testes mecânicos. Além disso, foi calculado o coeficiente de transpiração do fruto. A partir dos resultados, conclui-se que o estágio de desenvolvimento de 18

semanas foi o que melhor retardou o processo de amadurecimento dos frutos, os quais permaneceram verdes durante 10 dias, mesmo quando armazenados sob temperaturas de 20 e 25°C. Além disso, a manutenção dos frutos às temperaturas de 10 e 15°C durante 10 dias não causou danos visíveis de injúria por frio, uma vez que, no 4º dia após a transferência para 25°C, os frutos apresentaram evolução da cor da casca, do teor de açúcares solúveis totais e perda da firmeza da casca e da polpa, o que caracteriza o processo de amadurecimento. Contudo, apenas os frutos anteriormente armazenados a 15°C apresentaram-se, totalmente, amarelos no 6º dia de armazenamento, após transferência para 25°C. Os frutos com 19 semanas de desenvolvimento apresentaram sinais de evolução do amadurecimento a partir do 7º e 6º dias, quando armazenados às temperaturas de 20 e 25°C, respectivamente, apresentando características de completo amadurecimento ao final de 10 dias. Os frutos com 20 semanas de desenvolvimento mantiveram-se totalmente verdes, durante os 10 dias, somente, quando armazenados a 10°C. No entanto, logo após a transferência dos frutos com 19 e 20 semanas às temperaturas de 10 e 15°C para a temperatura de 25°C, ocorreu alteração nos índices físicos e químicos dos frutos, atingindo níveis que caracterizaram seu completo amadurecimento. Na tentativa de utilizar um único índice para representar a evolução da cor da casca da banana 'Prata-Anã', o índice CCI foi eficiente em descrever a evolução da cor da casca, durante o amadurecimento. Além disso, apresentou alta correlação com as forças máximas de penetração da polpa e da casca e com os teores de açúcar e amido. Os modelos de Gaussian e Sigmoidal com três parâmetros e os modelos de Gompertz e Sigmoidal com quatro parâmetros descrevem, satisfatoriamente, as mudanças em textura assim como na cor e nos teores de açúcar e de amido, podendo ser utilizados em sistemas automatizados de controle de qualidade. Quanto aos coeficientes de transpiração, ocorreu variação em função do estágio de desenvolvimento e da temperatura de armazenamento, sendo que os valores variaram entre 515,02 e 210,53 10^{-12} kg. kg⁻¹s⁻¹Pa⁻¹, que são maiores que o da batata e menores que o da cenoura, indicando que a banana 'Prata-Anã' apresenta uma maior e menor perda de água, em relação àqueles dois produtos, respectivamente.

ABSTRACT

RIBEIRO, Deise Menezes, DSc., Universidade Federal de Viçosa, November of 2006. **Evolution of the chemical, reological and physical properties during the ripening of the banana 'Prata-Anã**. Adviser: Paulo Cesar Corrêa. Co-Advisers: Luiz Carlos Chamhum Salomão and Paulo Roberto Cecon.

The ripening kinetics of the banana 'Prata-Anã' harvested at different development stages (18, 19 and 20 weeks) and stored under different temperatures was studied. From each randomly collected bunch, just the second and third hands were used, as being divided into bouquets with four fruits. The experiment was carried out at two stages. In the first stage, the modifications of the fruits kept at temperatures 10, 15, 20 and 25°C for 10 days in BOD-type chambers with relative humidity varying from 90 to 95% were evaluated. In the second stage, the fruits stored at the temperatures 10°C and 15°C for 10 days were transferred to 25°C temperature and evaluated until the 6^o day under storage at this temperature. For both stages, the loss of the fruit fresh matter was analyzed and they were subjected to analyses in order to study the ripening kinetics based on chemical changes, peel color change and the pulp softening, by applying mechanical tests. In addition, the transpiration coefficient of the fruit was calculated. Based on the results, some conclusions may be drawn as follows. The 18-week

development stage showed the best delay in the fruit ripening process, as those fruits stayed green for 10 days even when stored at temperatures 20°C and 25°C. Besides, the maintenance of the fruits at temperatures 10°C and 15°C for 10 days caused no visible damages by cold injuries, since at the 4th day after transferring to 25°C the fruits presented evolution in the color peel, total soluble sugar contents, and both pulp and peel firmnesses, which characterizes the ripening process. However, only those fruits previously stored at 15°C showed to be totally yellowish at the 6th day under storage, after transfer to 25°C. The fruits under development for 19 weeks showed ripening evolution signs from the 7th and 6th days, when stored at temperatures 20°C and 25°C, respectively, as presenting complete ripening characteristics at the end of 10 days. The fruits with 20 weeks under development only maintained totally green during those 10 days when stored at 10°C. However, soon after those fruits with 19 and 20 weeks under temperatures 10°C and 15°C were transferred to 25°C temperature, the change in the physical and chemical indexes of the fruits occurred, as reaching levels that characterized their complete ripening. In the attempt to using a single index to represent the evolution of the peel color in the banana 'Prata-anã', the CCI index was efficient in describing the evolution of the peel color during ripening. Besides, it presented high correlation with either the maximum forces of pulp and peel penetration and with the contents of sugar and starch. The Gaussian and Sigmoid models with three parameters and Gompertz and Sigmoid models with four parameters satisfactorily describe the changes in texture as well as in color and contents of sugar and starch, so they can be used in automated quality control systems. Concerning to the transpiration coefficients, a variation occurred as a function of the development stage and storage temperature; the values varied from 515.02 to 210.53 10^{-12} kg. kg⁻¹s⁻¹Pa⁻¹ that are higher than the potato but lower than the carrot, therefore pointing out the banana 'Prata-anã' to show higher and lower water loss, relative to those two products, respectively.

1. INTRODUÇÃO

A banana é um fruto climatérico, que apresenta considerável importância socioeconômica nos países tropicais, sendo fonte de energia, vitaminas e minerais. No Brasil, a banana é considerada como alimento básico para a população, sendo o cultivar 'Prata-Anã' (*Musa* AAB, subgrupo Prata) muito importante no mercado interno, principalmente nos estados da região Sudeste, com clara perspectiva de alcançar outras regiões ou, até mesmo, o mercado internacional.

Atualmente, o mercado consumidor representa um segmento exigente quanto à qualidade. A aparência (tamanho, forma, coloração, brilho, ausência de defeitos), o sabor, o aroma e a textura dos alimentos são os primeiros atributos avaliados pelo consumidor, no momento de sua aquisição, uma vez que atuam diretamente sobre seus órgãos sensoriais. Para atender e assegurar este mercado, é necessária a utilização de tecnologias adequadas de colheita e pós-colheita (manuseio, processamento, armazenamento e transporte), que são fundamentais à sua produção e práticas culturais.

Para determinar o ponto de colheita, deve-se levar em consideração a distância e o mercado ao qual o fruto é destinado. Em geral, considera-se que o fruto deve ser colhido tanto mais imaturo quanto mais distante estiver o mercado consumidor, porém, sempre depois de fisiologicamente desenvolvido (Cancian & Carvalho, 1980; Rangel et al., 2006).

Por ser, quando madura, um fruto muito sensível ao transporte e por não se conservar por longos períodos, a banana deve ser colhida ainda verde, completando seu amadurecimento em câmaras de climatização com concentração de gases, temperatura, umidade relativa e ventilação controladas. Assim, obtém-se um produto final de melhor qualidade e uniformemente amadurecido. Contudo, dependendo do momento de colheita, o fruto pode não se encontrar fisiologicamente desenvolvido, comprometendo seu processo de amadurecimento e sua qualidade.

Durante o amadurecimento da banana, a modificação visual mais marcante é o amarelecimento da casca devido à degradação da clorofila. Considerando a cor da casca da banana como um atributo de qualidade e a diversidade de condições de iluminação às quais os frutos são classificados, torna-se necessária a quantificação desta característica em escalas padronizadas e aceitas, internacionalmente, que sirvam de base para se distinguir e determinar as diferentes cores e suas variações.

Os métodos disponíveis para a medida da cor compreendem desde uma simples comparação visual com um padrão até sofisticados instrumentos, que quantificam as diversas tonalidades de cor do produto. Com a sofisticação dos mercados e as crescentes exigências dos consumidores, torna-se relevante a utilização de testes mais objetivos para o monitoramento da qualidade e da aparência dos produtos, uma vez que a avaliação realizada a olho nu sofre a interferência das condições ambientais e da fadiga do observador. Daí decorre a importância da utilização de equipamentos, como os colorímetros ou os espectrofotômetros, na atividade produtiva.

A textura dos frutos caracterizada pela dureza, fibrosidade, resistência elasticidade e outros (Chitarra & Chitarra, 2005) também varia, durante o processo de amadurecimento (Chen & Ramaswamy, 2002).

As substâncias pécticas são os principais componentes químicos dos tecidos, responsáveis por mudanças na textura dos frutos e hortaliças. Além disso, em bananas, o amido é degradado rapidamente, sendo convertido em açúcares solúveis (sacarose, glicose e frutose) presentes na forma livre ou combinada, que são responsáveis pela doçura e textura, quando combinados adequadamente com polissacarídeos estruturais (Chitarra &

Chitarra, 2005). Estas transformações podem variar conforme a temperatura de armazenamento, uma vez que ocorrem devido à ação de enzimas (Bassinello et al., 1999), cuja atividade é acelerada com o aumento da temperatura.

As propriedades físicas dos frutos são utilizadas na avaliação de sua textura, contribuindo para o desenvolvimento de métodos objetivos visando ao controle da qualidade, tanto de produtos inteiros quanto processados. Dentre essas propriedades, o comportamento reológico é um dos mais importantes, não sendo somente utilizado como medida de qualidade, mas também em projetos, avaliação e operação de equipamentos presentes nas várias operações unitárias da cadeia produtiva.

Os principais testes reológicos para avaliação da textura em alimentos incluem a punção, penetração, compressão, cisalhamento e relaxação (Bourne, 2002). Assim, mudanças na textura dos frutos durante o amadurecimento podem ser monitoradas e avaliadas, objetivamente, por meio destes testes. Além disso, modelos matemáticos podem descrever a variação dos parâmetros reológicos durante o processo de amadurecimento, fornecendo não somente índices práticos de textura, mas também características subjacentes aos processos de amadurecimento.

Desta forma, a utilização de equipamentos próprios para medição vem sendo preferida pelos pesquisadores, bem como em aplicações comerciais, uma vez que além de reduzirem variações entre os indivíduos, esses equipamentos são mais precisos e fornecem índices para padronização de linguagem entre os pesquisadores, indústrias e consumidores.

A banana 'Prata-Anã', apesar de não ser a mais consumida, atualmente, no mercado internacional, apresenta um grande potencial para se estabelecer neste mercado (Almeida et al., 2001). Desta forma, torna-se necessário o conhecimento sobre os índices de qualidade, que indiquem de maneira objetiva o comportamento do fruto durante o processo de amadurecimento, em virtude da escassez de informações teóricas referentes ao assunto para este cultivar.

Diante do exposto, o objetivo geral do presente trabalho foi estudar a evolução dos índices físicos de qualidade da banana 'Prata-Anã' durante o

amadurecimento, sob diferentes temperaturas de armazenamento, para diferentes estádios de desenvolvimento, bem como relacioná-los às transformações químicas dos carboidratos, que ocorrem simultaneamente.

Especificamente pretendeu-se:

- Estudar a evolução dos índices de cor, determinados por meio de testes objetivos (colorímetros);

- Estudar o amadurecimento da banana ‘Prata-Anã’ sob diferentes temperaturas de armazenamento, utilizando-se testes de avaliação de textura: penetração da casca e polpa e relaxação;

- Ajustar modelos matemáticos a fim de expressar o comportamento reológico dos frutos, em função do tempo de armazenamento, para cada temperatura e época de colheita;

- Analisar as transformações químicas dos carboidratos, associadas ao amadurecimento e amaciamento dos frutos, em função do tempo de armazenamento para cada temperatura e época de colheita.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Características do fruto

A bananeira é nativa do Sudeste da Ásia, embora seja encontrada em praticamente todas as regiões tropicais, o que a torna uma das mais importantes culturas do mundo.

A banana é um fruto climatérico, que apresenta considerável importância socioeconômica nos países tropicais. No Brasil, por ser de baixo custo e uma fonte de calorias, vitaminas e minerais, é considerada como alimento básico (Durigan & Ruggiero, 1995). Embora o Brasil seja o quarto maior produtor mundial de banana, sua participação no mercado internacional ainda é marginal (0,5%) (Adão & Glória, 2005), sendo necessário melhorar em muito a qualidade do produto, regularizar sua oferta e adotar uma prática de exportação mais consistente. Segundo Mascarenhas (1999), desde a colheita até à mesa do consumidor, perde-se em torno de 40% das bananas produzidas.

A banana é um fruto alongado, de casca mole, quando madura, com a polpa carnosa e de coloração amarelada, variável de acordo com a variedade. Em virtude de suas agradáveis peculiaridades de aroma e sabor, pode ser consumida tanto na forma natural (crua) como processada, por populações de baixo e alto poder aquisitivo.

Segundo Lima et al. (2000), a banana madura apresenta 19% de açúcares e 1% de amido, em média. O fruto é basicamente composto de água (70%), proteína (1,2%), carboidratos (27%) e apresenta teores regulares de cálcio, ferro, cobre, zinco, iodo, manganês e cobalto, vitamina A, tiamina, riboflavina, niacina e vitamina C. A banana madura apresenta uma grande diversidade de componentes, bem como os teores mássicos podem variar em função da origem do fruto, variedade e instrumentação utilizada na detecção desses resultados (Lima et al., 2000).

O cultivar Prata-Anã apresenta porte médio/baixo, planta vigorosa e frutos de aspecto semelhante aos do cultivar Prata, sendo, no entanto, tolerante ao frio e mediamente tolerante a nematóides (Rangel et al., 2006). Segundo Oliveira (2000), a 'Prata-Anã' apresenta elevado potencial de exportação e, portanto, é necessário que seja transportada a longas distâncias, o que provavelmente só terá sucesso com o estabelecimento do ponto de colheita e temperaturas de armazenamento adequadas.

2.2. Condições de armazenamento da banana

A temperatura de armazenamento é um fator diretamente relacionado à manutenção das características iniciais da banana, uma vez que os processos fisiológicos e patológicos são função direta dela.

Existe uma temperatura mínima de segurança (TMS), abaixo da qual ocorrerão distúrbios fisiológicos em frutos tropicais. A temperatura mínima tolerada pela banana varia conforme o cultivar, as condições climáticas de cultivo e a umidade da câmara. Assim, dependendo do cultivar, a TMS situa-se entre 10°C e 14°C (Botrel et al., 2001).

Segundo Soto (1985) e Bleinroth (1984), a banana do subgrupo Cavendish pode ser conservada à temperatura de 12°C externamente e de 13°C na polpa. Chen & Ramaswamy (2002) observaram, por meio de testes de textura e de cor, que a banana 'Prata' armazenada a 10°C não sofreu distúrbios fisiológicos, completando seu amadurecimento aos 18 dias após a colheita.

Segundo Chitarra & Chitarra (2005), o cultivar Gros-Michel apresenta sintomas de desordem após 14 dias à temperatura de 11,1°C, mas, quando

armazenado 10,5°C, os sintomas aparecem após o 9º dia de armazenagem. No cultivar Lacatan, os sintomas ocorrem após o 10º dia a 13,3°C e após o 6º dia a 12,2°C. De acordo com esses autores, os frutos armazenados às temperaturas entre 0°C e a de segurança apresentam traços marrons na casca e cor opaca, quando maduros, após remoção para temperaturas de comercialização.

Oliveira (2000) verificou que, entre as temperaturas utilizadas (8, 12 e 16°C) para retardar o amadurecimento de bananas 'Prata-Anã', as temperaturas de 8 e 12°C foram as que melhor se prestaram a este objetivo. Também não foram observados sintomas visíveis de injúria por frio, mesmo aos 28 dias de armazenagem.

A umidade relativa ideal é outro fator indispensável no ambiente de maturação e de refrigeração. Constantemente, a fruta perde umidade através da transpiração, a qual deve ser controlada para evitar o seu murchamento e a perda excessiva de massa, assim como o enrugamento e a coloração opaca da (Bleinroth, 1984). Segundo Gottreich & Halevy (1982), a umidade relativa na câmara de armazenamento deve ser mantida em torno de 85 a 95%.

2.3. Perda de massa

A perda total de massa dos frutos é associada, principalmente, à perda de água ocasionada pela transpiração, mas também à perda de massa pela respiração, que ainda acontecem mesmo após o desligamento da planta (Sigrist, 1992). Esta perda é mais acentuada, quando os frutos são armazenados a altas temperaturas e, ou baixas umidades relativas (Botrel et al., 2001), e também quanto maior for o seu grau de amadurecimento, chegando a níveis que tornam os frutos inaptos à comercialização (Silva et al., 2006).

Baseando-se nas taxas respiratórias desses produtos, conclui-se que a perda de massa pela respiração situa-se entre 3 e 5% da perda total de massa, observada na pós-colheita. Portanto, a intensidade da transpiração pós-colheita determina, em grande parte, a taxa de perda de massa total dos frutos (Finger & Vieira, 1997). Segundo esses autores, o nível máximo de

perda de massa aceitável para produtos hortícolas varia em função da espécie e do nível de exigência do mercado consumidor. Para a maioria dos produtos hortícolas frescos, a perda de massa total máxima, observada sem o aparecimento de murcha ou enrugamento da superfície, oscila entre 5 e 10%.

No processo de transpiração, incluem-se o transporte de água através da casca do produto, a evaporação da água da superfície do produto e o transporte convectivo para o meio que o circunda.

Segundo Botrel et al. (2004), a casca perde água pela transpiração e por osmose para a polpa, sendo que, no primeiro caso, contribui para a perda de matéria fresca no fruto como um todo e, no segundo caso, para o aumento da massa fresca da polpa do fruto maduro.

A evaporação consiste na passagem do estado líquido para o estado gasoso e é um fenómeno de superfície. Nos órgãos vegetais, pode-se considerar duas superfícies onde a evaporação ocorre: a superfície das células e a superfície dos órgãos.

Admite-se que a água, evaporada da superfície das células, vai saturar o ar dos espaços intercelulares no interior do tecido. Uma vez no estado gasoso, o vapor de água move-se por difusão do interior do tecido para a superfície ou da superfície do órgão para o ambiente circundante.

O processo de transferência de massa pelo qual o vapor de água se move, por difusão, da superfície do órgão vegetal para o ar circundante é descrito pela lei da difusão de Fick, que relaciona a difusão de um gás através de uma superfície plana com a sua concentração (Equação 1). Segundo esta lei, uma substância se difundirá mais rapidamente, quando o gradiente de concentração tornar-se mais acentuado ou quando o coeficiente de difusão for aumentado (Taiz & Zeiger, 2004).

$$J = -D_a \frac{\partial C}{\partial x} \quad (1)$$

Em que:

J = fluxo de água, $\text{mol.m}^2.\text{s}^{-1}$;

D_a = coeficiente de difusão, $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$

C = concentração de vapor de água, mol.m^{-3} ;

x = distância, m.

Assumindo condições de fluxo em estado estacionário e ausência de armazenamento de água na distância x , é possível integrar a Equação 1 entre dois pontos do sistema. Com recurso a algumas relações psicrométricas e redefinição de variáveis, é possível deduzir a Equação 2.

$$\dot{m} = k_t \cdot \text{DPV} \quad (2)$$

Em que:

\dot{m} = taxa de perda de água, $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$;

k_t = coeficiente de transpiração, $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$;

DPV = diferença de pressão de vapor, Pa.

O coeficiente de transpiração, k_t , é uma constante de proporcionalidade, que resume o efeito dos diversos fatores relacionados com a natureza do produto e que influenciam a taxa de transpiração. DPV é a diferença entre a pressão de vapor do ar saturado (P_s) e a pressão de vapor do ar ambiental (P_a). Neste caso, assume-se que a temperatura da superfície do produto seja igual àquela do ar ambiental e, como a superfície se apresentará em uma condição saturada, a pressão de vapor de água da superfície do produto irá equivaler à pressão de saturação do vapor de água, P_s , avaliada para a temperatura ambiental.

O coeficiente de transpiração (k_t), tal como foi definido, é um parâmetro que traduz a facilidade com que uma superfície perde água. Uma superfície de água livre perde água mais facilmente do que um produto hortofrutícola e tem um k_t mais elevado. Folhas e raízes não suberificadas possuem valores de k_t elevados, enquanto órgãos muito suberificados apresentam baixos valores de k_t .

O processo de transpiração será mais ou menos intenso, em função da diferença de pressão de vapor do ar (saturado) no interior do produto e o ar ambiental que o envolve. Quanto maior for esta diferença, maior será a taxa de perda de água pelo produto.

Segundo Almeida (2005), esta relação pode ser utilizada para determinar as taxas de perda de água em diferentes situações (diferentes produtos, temperaturas e umidades relativas). No entanto, de acordo com o autor, este método origina resultados corretos, somente, sob condições em

que a pressão barométrica, a natureza do produto e a velocidade do ar permanecem constantes. Assim, pode-se estimar as perdas de água de produtos hortofrutícolas em condições concretas, durante o manuseamento pós-colheita.

Embora existam valores tabelados para o coeficiente de transpiração, os valores são, na prática, algo variáveis. Além disso, uma relação dos coeficientes de transpiração para vários frutos e hortaliças foi apresentada por alguns autores (ASHRAE, 1994; Thompson et al., 2002, citado por Almeida, 2005). Entretanto, o valor deste coeficiente para frutos de bananeira não foi encontrado na literatura especializada (Quadro 1).

Quadro 1. Valores do coeficiente de transpiração de algumas frutas e hortaliças

Produto	Coeficiente de transpiração ($10^{-12} \cdot \text{kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$)	
	ASHRAE, 1994	Thompson et al. (2002)
Maçã		16-100
Batata		2-171
Cebola		13-123
Pêra		10-144
Toranja		29-167
Laranja		25-227
Uva		21-254
Ameixa	115-198	110-221
Tomate		71-365
Limão	140-227	139-229
Couve repolho		40-667
Pêssego	917-1020	142-2089
Alho francês		530-1042
Cenoura		106-3250
Aipo		104-3313
Alface		680-8750

2.4. Cor


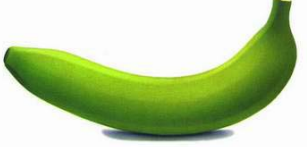





2.4.1. Aspectos gerais sobre cor

A mais flagrante modificação durante o amadurecimento da banana é o amarelecimento da casca. A clorofila, que confere a coloração verde à casca da banana no estágio pré-climatérico, é rapidamente degradada, dando visibilidade aos carotenóides, pigmentos amarelos que caracterizam a banana madura. O grau de coloração da casca da banana é um importante preditor de sua vida-de-prateleira e é freqüentemente utilizado como guia para sua distribuição no comércio. Assim, o estágio de maturação é caracterizado subjetivamente, de acordo com o grau de coloração da casca, numa escala que varia de um a sete, segundo CEAGESP (2004), conforme apresentado no Quadro 2. A escala foi criada para banana Nanica, mas Silva et al. (2006) a utilizou para bananas do subgrupo Prata.

Em frutos e hortaliças, a cor é uma característica primária que determina o preço e aceitabilidade pelo consumidor. Como resultado, muitas pesquisas e desenvolvimento tecnológico têm ocorrido no sentido de determinar a cor da superfície de produtos e assegurar que a cor requerida para determinado produto seja encontrada (Delwiche et al., 1993).

A concentração de pigmentos e a presença de outros constituintes acentuam, muitas vezes, a cor de um determinado produto, gerando um melhor índice de qualidade (Lancaster & Lister, 1997). Por outro lado, determinada cor pode estar relacionada à presença de determinado pigmento ou certo constituinte que, por sua vez, pode relacionar-se, respectivamente, com a maturidade e com o sabor de certos produtos (Abbott, 1999). Segundo Stewart & Wheaton (1972), citados por Mendonça et al. (2003), o etileno promove o aumento das enzimas clorofilase e oxidases, responsáveis pela degradação da clorofila e desaparecimento da cor verde, bem como estimula a carotenogênese, o que promove o aparecimento da cor amarela ou laranja.

Quadro 2. Escala de cores da casca de bananas de acordo com seu grau de maturação

Cores	Descrição
	1 - Totalmente Verde
	2 - Verde com traços amarelados
	3 - Mais Verde que Amarelo
	4 - Mais Amarelo que Verde
	5 - Amarelo com a Ponta Verde
	6 - Todo Amarelo
	7 - Amarelo com Áreas Marrons

Fonte: CEAGESP (2004).

2.4.2. Determinação objetiva da cor

Com a sofisticação dos mercados e as exigências crescentes dos consumidores, torna-se difícil o controle da qualidade e da aparência dos produtos apenas visualmente. A avaliação realizada a olho nu sofre a interferência das condições do ambiente e da fadiga da observação. Daí

decorre a importância que equipamentos, como os colorímetros, adquiriram na atividade produtiva.

Assim, engenheiros buscam modelos que descrevam as mudanças, que ocorrem na textura e na cor dos frutos durante o amadurecimento, para desenvolvimento e maior otimização de equipamentos utilizados no monitoramento da qualidade desses produtos.

A colorimetria representa a técnica de descrever, em termos numéricos, a cor de um objeto. Os métodos disponíveis para a medida da cor variam desde uma simples comparação visual com um padrão a sofisticados instrumentos, denominados colorímetros e espectrofotômetros. Entre os métodos de comparação visual, destaca-se o sistema Munsell para medida da cor, considerado padrão para descrição da cor nos E.U.A., amplamente empregado nos colorímetros de disco e utilizado para a descrição da cor de vários produtos agrícolas (Lopes et al., 1998).

Entre os sistemas de medição objetiva mais conhecidos, segundo Abbott (1999), estão o RGB (vermelho, verde e azul), que é utilizado em monitores de vídeo; CIE Yxy, desenvolvido em 1931; o Hunter Lab, desenvolvido em 1948 para medições fotoelétricas; o CIE $L^*a^*b^*$, desenvolvido em 1976; o CIE $L^*u^*v^*$ e o CIE LCH desenvolvidos posteriormente. Estes diferem quanto à simetria da cor, espaço e sistema de coordenadas, usados para definir os pontos no espaço. Em cada sistema, a cor é alocada em um espaço tridimensional, onde é quantificada. Os métodos tristímulo do CIE (Yxy e $L^* a^* b^*$) e o sistema de Hunter são os mais utilizados em trabalhos de rotina e na indústria, em função da rapidez na obtenção dos resultados.

O Sistema de Cores CIE foi desenvolvido e adotado pela Commission Internationale d'Eclairage em 1931 e, desde então, passou a ser um padrão internacional para medida, designação e acerto de cores. Segundo o conceito deste sistema, o olho humano tem três receptores de cores - vermelho, verde e azul – e todas as outras cores são combinações destas.

No sistema CIE 1976, um sólido de cores é definido por três coordenadas retangulares (Figura 1). O eixo principal é o nível de luminosidade L^* em uma escala de 0 (totalmente preto) a 100 (totalmente branco). Os valores intermediários compreendem uma escala de cinza. O

matiz (tonalidade) é especificado por outros dois caracteres cromáticos. Um deles, codificado por a^* , define o eixo que varia entre o verde (-60) e o vermelho (+60), com valores negativos refletindo a predominância do verde e os positivos do vermelho. O segundo caractere, codificado por b^* , define o eixo que varia entre o azul (-60) e o amarelo (+60), com valores negativos refletindo a predominância do azul e os positivos do amarelo (Keey, 2004; Farkas, 2003).

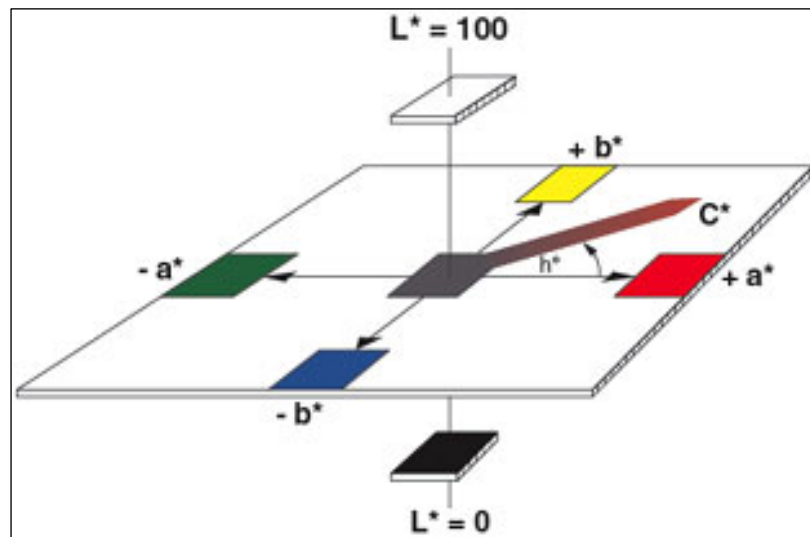


Figura 1. Sólido de cores do sistema CIE $L^*a^*b^*$ e descrição do ângulo hue ($^{\circ}h^*$) e do índice de saturação cromática (C^*).

Nos sistemas utilizados em equipamentos eletrônicos como o colorímetro, a cor é alocada em um espaço tridimensional, onde é quantificada por meio das coordenadas referentes ao sistema em uso. Desta forma, segundo Hutchings (2002), o estudo da cor utilizando os valores isolados das coordenadas é incorreto, porque as duas coordenadas não são independentes. No entanto, o ângulo de tonalidade, hue, e o índice de saturação, cromática, são apropriados para obtenção desta descrição (Trant et al., 1981, citados por Hutchings, 2002), visto que hue ($^{\circ}h^*$) e cromática (C^*) são medidas derivadas de a^* e b^* .

O ângulo de cor hue assume valor zero para a cor vermelha, 90° para amarela, 180° para verde e 270° para azul. A cromaticidade ou cromática (C^*)

expressa a intensidade da cor, ou seja, a saturação em termos de pigmentos desta cor. Valores de croma próximos de zero representam cores neutras (cinzas), enquanto valores próximos de 60 expressam cores vívidas (Mendonça et al., 2003).

Além destes parâmetros, pode-se obter a medida da diferença total de cor (DE) entre os tratamentos ou entre uma amostra e um padrão de cor.

A partir dos parâmetros de cor, obtidos por meio de colorímetros ou espectrofotômetros para determinado fruto, pode-se também prever as mudanças na qualidade durante o amadurecimento, quando submetidos a diversas condições de armazenamento, assim como obter alguns fundamentos teóricos para desenvolver um sistema de controle de qualidade (Chen & Ramaswamy, 2002). De acordo com Ávila & Silva (1999), as medições de cor com a utilização do sistema Lab explicaram, completamente, o real comportamento da polpa de pêssego embalada, quando submetida ao tratamento térmico. O índice de cor $I=Lab^{-1}$ e a diferença de cor (DE) mostraram-se bons indicadores da mudança total de cor da polpa de pêssego, submetida ao aquecimento. Jiménez et al. (1981) propuseram um índice de cor específico para citrus ($CCI=1000aL^{-1}b^{-1}$), o qual apresentou alta correlação com a avaliação visual. Corrêa (1992) utilizou o índice $I=abL^{-1}$ para estudo da evolução da cor da casca e da polpa de abacate.

A faixa usual da temperatura para aceleração da mudança de cor depende do tipo de produto, espécie e cultivar, duração do processo e a exigência do consumidor quanto à cor externa do fruto. A temperatura ótima para a biossíntese de carotenóides depende do tipo do carotenóide e do produto, mas comumente situa-se na faixa de 15 a 25°C (Artés et al., 2002).

Na prática, durante o amadurecimento, a casca da banana passa da cor verde para amarela, provocando um aumento nos valores de 'a*' e 'b*'. Esta variação pode ser mais acentuada para uma coordenada em relação à outra, conforme observado por Álvares et al. (2003) que verificaram uma evolução mais acentuada da coordenada 'a', que define a perda da cor verde.

2.5. Textura

2.5.1. Aspectos gerais sobre a textura dos frutos

A textura pode ser definida como o conjunto de características físicas, formadas a partir dos elementos estruturais do alimento, sendo perceptíveis pelo tato e relacionadas à deformação, desintegração e fluxo do alimento, sob a aplicação de uma força (Bourne, 2002). Suas medidas são função da massa, tempo e distância.

As propriedades de textura, segundo Muller (1969), citado por Bourne (2002), podem ser subdivididas em dois grupos: 1 – reologia, um ramo da física que estuda a deformação e o escoamento dos materiais; e 2 – sensação e toque (*haptaesthesia*), um ramo da psicologia que descreve a percepção do comportamento mecânico dos materiais.

Nos frutos, para alguns processos após a colheita, é importante o conhecimento de suas propriedades físicas e químicas. Entre essas propriedades, o comportamento reológico, segundo Ibarz et al. (1996), é um dos mais importantes, não sendo somente uma medida de qualidade, mas também uma medida utilizada em projetos, avaliação e operação de equipamentos envolvidos na cadeia produtiva.

Dentre as propriedades reológicas, a firmeza dos frutos tem sido usada como indicador de qualidade, sendo um fator importante na escolha do produto pelo consumidor, além de relacionar-se com a força necessária para que o produto atinja uma dada deformação.

Além da firmeza, o conhecimento do comportamento elástico do fruto torna-se fundamental, uma vez que a elasticidade é a propriedade do material em recuperar sua forma e dimensões originais, parcial ou totalmente, após cessar a ação da tensão ou força aplicada (Bourne, 2002).

Em sua maioria, a perda progressiva da firmeza ou o amaciamento da banana é um dos primeiros sinais de amadurecimento. Os mecanismos pelos quais os frutos tornam-se macios, durante o amadurecimento, não estão claros. Embora a perda de turgor e a degradação de amido durante o amadurecimento possam contribuir, as mudanças enzimáticas na estrutura e na composição da parede celular são consideradas como fatores principais

de amaciamento dos frutos (Fischer & Bennett, 1991; Silva et al., 2006; Ali et al., 2004).

Segundo Botrel et al. (2004), a perda de firmeza da casca da banana ocorre, provavelmente, em grande parte, devido à perda de água pela transpiração e por osmose para a polpa durante o amadurecimento. A perda por osmose é explicada pelo rápido aumento na concentração de açúcares na polpa, em comparação com a casca, que contribui para o aumento do diferencial da pressão osmótica (Dadzie, 1998, citado por Botrel et al., 2004).

Em bananas, as mudanças na textura da polpa durante o amadurecimento ocorrem, provavelmente, devido à degradação coordenada de polissacarídeos pécticos e hemicelulósicos da parede celular e à degradação de amido (Kojima, et al., 1994a; Seymour, 1993). Kojima et al. (1994a) sugerem que a redução dos constituintes da pectina e da hemicelulose antecede a redução no teor de amido, indicando que, provavelmente, o amaciamento dos frutos tenha início devido às mudanças estruturais da pectina e da hemicelulose da parede celular da polpa de banana. No entanto, de acordo com Kays (1991), alterações nos componentes hemicelulósicos da parede celular durante o amadurecimento tendem a ser, relativamente, insignificantes no amaciamento dos frutos. Na polpa de banana, Prabha & Bhagyalakshmi (1998) verificaram uma redução destes componentes de 2,4% para 0,9%, durante o amadurecimento.

Embora a celulose seja maioria na composição das paredes celulares, o seu papel é uma incógnita em alguns frutos. Segundo Kays (1991), as enzimas celulasas são encontradas em pouca quantidade, em determinados frutos, o que sugere não terem papel importante no amaciamento. Kojima et al. (1994a) e Prabha & Bhagyalakshmi (1998) verificaram que o teor de celulose da polpa de banana do cultivar 'Giant Cavendish' permaneceu constante durante o amadurecimento do fruto, sugerindo não haver uma relação com o amaciamento do fruto de banana.

Em contraste com a celulose e a hemicelulose, muitas mudanças ocorrem na fração péctica, encontrada predominantemente na lamela média, com o amadurecimento. Pectinas solúveis aumentam durante este período, enquanto pectinas insolúveis diminuem (Huber et al., 2001; Brummell & Harpster, 2001). Um decréscimo na protopectina e pectina total foi

observado durante o amadurecimento, paralelamente ao aumento das pectinas solúveis na polpa da banana (Ali et al., 2004). Provavelmente, essas mudanças são resultantes da ação de enzimas associadas à parede celular, tais como pectinametilesterase, poligalacturonase, β -galacturonase e outras, que atuam sobre as pectinas e outros carboidratos (Barret & Gonzales, 1994; Prabha & Bhagyalakshmi, 1998).

2.5.2. Testes para avaliação da textura dos frutos

As variações na textura dos frutos dependem das mudanças químicas e biofísicas, que ocorrem durante a colheita, transporte, amadurecimento e secagem, conforme reportado por alguns autores (Moshenin, 1986; Bourne, 2002; Krokida et al., 2000; Singh & Reddy, 2006). Desta forma, informações sobre as variações das propriedades reológicas de frutos são necessárias para a caracterização dos materiais, fixação do período ótimo para colheita, avaliação da qualidade e conhecimento da extensão e da natureza de danos, que ocorrem durante a colheita, armazenagem e processamento.

Os testes reológicos para avaliação da textura em frutos incluem, entre outros, a punção, compressão, cisalhamento e relaxação (Abbott, 1999), que possibilitam a obtenção de dados relacionados à consistência e resistência dos tecidos dos vegetais mediante a aplicação de uma força. Além disso, pode-se estudar a perda de firmeza de um fruto quando submetido ou mantido em condições diversas. Castro et al. (2002) estudaram a influência da refrigeração sobre a firmeza de banana 'Prata-Anã', a partir da força de penetração, obtida por meio de um penetrômetro de mão modelo 327, provido de ponteira de 8 mm de diâmetro. Ali et al. (2004) estudaram, comparativamente, as modificações nas enzimas da parede celular e na firmeza, durante o amadurecimento de vários frutos tropicais mantidos à temperatura de 28°C. Para o estudo da perda de firmeza, eles determinaram a força de ruptura, utilizando um penetrômetro McCormic, modelo FT327-12.

Jha et al. (2006) utilizaram um analisador de textura (TA-HDI, Stable Micro systems, UK) com uma sonda cilíndrica de 2 mm de diâmetro, para obtenção da força máxima de penetração no fruto, a fim de estudarem as

propriedades mecânicas de manga durante amadurecimento. Singh & Reddy (2006) utilizando a máquina de teste Instron, modelo 4400, determinaram a força de ruptura, o módulo de elasticidade e a tensão de ruptura da casca de laranjas mantidas em condições refrigeradas.

Testes de relaxação têm sido utilizados, para obtenção de informações sobre o comportamento viscoelástico de frutos.

Na literatura, diversos modelos têm sido propostos para descrição das curvas de relaxação e, conseqüentemente, predição dos parâmetros de relaxação. Tradicionalmente, são utilizados modelos exponenciais derivados do modelo de Maxwell:

$$Y(t) = \sum_{i=1}^n a_i \exp(-b_i t) \quad (3)$$

Em que:

$Y(t)$ = redução da força ou tensão no tempo t ;

t = tempo, segundos;

n = número de termos no modelo;

a_i e b_i = parâmetros característicos do material.

Muitos alimentos apresentam comportamento viscoelástico não linear e, portanto, o número de termos e os parâmetros devem, por definição, depender da história e do nível de deformação. O número de termos disponível na literatura é, usualmente, 2 a 3 envolvendo 4 a 6 parâmetros.

O modelo generalizado de Maxwell com 2 ou 3 elementos foi utilizado por Watts & Bilanski (1991), para representar dados de relaxação. Nussinovitch et al. (1989) propuseram um outro modelo (Equação 4), para caracterizar as propriedades viscoelásticas de materiais biológicos.

$$\frac{F_t}{F_0} = A_0 + A_1 e^{-\frac{t}{10}} + A_2 e^{-\frac{t}{100}} + A_3 e^{-\frac{t}{1000}} \quad (4)$$

Em que:

F_0 = força aplicada inicialmente (N);

A_0, A_1, A_2, A_3 = parâmetros adimensionais do modelo;

F_t = força para um dado tempo t , (N);

T = tempo de relaxação (s).

Um modelo, que normaliza e lineariza os dados de relaxação, foi proposto por Peleg (1979):

$$\frac{F_0 - F_t}{F_0} = \frac{A B t}{1 + B t} \quad (5)$$

Em que 'A' representa o nível para o qual a tensão cai, durante a relaxação. Se 'A' for igual a zero, não ocorre relaxação (sólido elástico ideal), mas, se 'A' for igual a 1, os valores de tensão aproximam-se de zero (líquidos). O termo 'B' representa a taxa de relaxação da tensão, enquanto 1/B é o tempo necessário para atingir valores de A/2. Se 'B' for igual a zero, não ocorre relaxação. Para materiais viscoelásticos, valores mais baixos de 'B' representam menores tempos de relaxação e vice-versa.

Kojima et al. (1994a) utilizaram uma sonda cônica para o estudo das características de relaxação, em amostras de 7 mm de espessura de polpa de banana tipo 'Cavendish' durante o amadurecimento, após tratamento com etileno. O modelo por eles utilizado (Equação 6), para simular os dados, baseou-se no modelo viscoelástico generalizado de Maxwell. Os autores obtiveram o tempo mínimo (T_o) e máximo (T_m) de relaxação, verificando, a partir desses dados, que a redução na viscosidade e elasticidade da polpa é um evento marcante, durante o amadurecimento da polpa.

$$\frac{F_t}{F_0} \cdot 100 = R \cdot \ln\left(\frac{t + T_m}{t + T_o}\right) \quad (6)$$

Em que:

R = taxa de relaxação;

T_o = tempo mínimo de relaxação (s);

T_m = tempo máximo de relaxação (s).

Wu & Abbott (2002) propuseram um modelo empírico com três parâmetros, para caracterizar as curvas de relaxação de tomates inteiros durante o amadurecimento, ou

$$\frac{F_t}{F_0} = 1 - A \cdot \ln(1 + t) - \frac{B \cdot t}{C + t} \quad (7)$$

Em que:

A, B, C = parâmetros do modelo.

Kajuna et al. (1998) obtiveram curvas de relaxação da polpa de diferentes cultivares de banana, durante o amadurecimento. Ajustaram os modelos 3, 4 e 5 (anteriormente citados) e o generalizado de Maxwell com 3 elementos e 7 parâmetros. Concluíram que todos os modelos representaram, adequadamente, o comportamento de relaxação da polpa dos frutos. No entanto, verificaram que os valores dos parâmetros do modelo de Maxwell e daquele proposto por Peleg (1979) foram mais consistentes e significativos, estatisticamente.

Errington et al. (1997) utilizaram testes de força/deformação e relaxação, realizados em um texturômetro Stable Micro Systems TA-XT2, para estudar as mudanças na textura de tomate durante o amadurecimento. Determinaram-se a relação força/deformação (N mm^{-1}) e os parâmetros de relaxação do modelo proposto por Peleg (1980), Equação 8, relacionados à elasticidade do fruto. Os autores observaram que a relação força/deformação é um indicador mais sensível das mudanças de textura que os parâmetros de relaxação.

$$\frac{F_0 \cdot t}{F_0 - F_t} = k_1 + k_2 \cdot t \quad (8)$$

Em que:

k_1 e k_2 = parâmetros relacionados à elasticidade do produto.

O processo de amadurecimento dos frutos está, intimamente, relacionado às mudanças nas substâncias pécticas da lamela média da parede celular, que atuam como agente cimentante, mantendo as células unidas. Essas mudanças resultam no relaxamento das células com o amadurecimento dos frutos. Portanto, a tensão ou força máxima de ruptura pode determinar o grau de união das células ou o grau de amadurecimento dos frutos. Em um fruto verde, as células apresentam-se firmes e juntas, sendo separadas em resposta à tensão ou força de ruptura. Em um fruto maduro, entretanto, o agente cimentante torna-se macio e as células deslizam umas sobre as outras com maior facilidade. Assim, com o processo

de amadurecimento e a decomposição das substâncias pécticas, a união entre as células torna-se fraca e a tensão ou força máxima de ruptura diminui (Mohsenin, 1986).

2.6. Açúcares solúveis totais e amido

De acordo com Bassinello et al. (1999), uma das mudanças bioquímicas mais relevantes, durante o amadurecimento da banana, é a conversão de amido em açúcares mais simples, que tornam os frutos mais doces com o amadurecimento.

Os níveis de amido na banana 'Prata', segundo Chitarra & Chitarra (2005), diminuem cerca de 20% a 25% da massa fresca para 0,2% a 1,5% com o amadurecimento. Simultaneamente, há um aumento nos teores de açúcares solúveis de 1% para 20% da massa fresca. Os principais açúcares solúveis detectados na banana são, principalmente, a sacarose, glicose e frutose (Adão & Glória, 2005).

De acordo com Mota et al. (1997) e Jesus et al. (2004), o teor de amido, o tipo e a quantidade dos açúcares solúveis variam entre as variedades de banana. Ferris et al. (1999) não encontraram diferenças no teor de sólidos solúveis entre as diferentes variedades estudadas de banana no estágio verde. Nos frutos maduros, entre os estádios 3 e 7, entretanto, as diferenças tornaram-se mais aparentes. Jesus et al. (2004) observaram que os teores médios de açúcares solúveis totais dos frutos no estágio 6 (coloração da casca totalmente amarela) dos genótipos apresentaram variação de 18,8% a 24,9%, sendo que o cultivar 'Prata-Anã' apresentou os teores mais altos ($24,9\% \pm 0,47$). O teor encontrado de amido para este cultivar foi de $4,5 \pm 0,21$. Além disso, os níveis de amido e açúcares solúveis podem variar numa mesma espécie com o estágio de maturidade, tipo de solo, condições de cultivo e de amadurecimento (Chitarra & Chitarra, 2005) e idade do cacho (Santos & Chitarra, 1998).

Adão & Glória (2005) observaram uma redução no teor de amido da polpa de banana 'Prata' de 15,7% para 3,4% da massa fresca, após 21 dias de armazenamento a $16 \pm 1^\circ\text{C}$. Para sólidos solúveis, os autores verificaram um aumento de 1,26% para 14,3%, no mesmo período.

Ainda segundo Mota et al. (1997), a diferença nos teores residuais de amido está relacionada às diferenças estruturais dos grânulos de amido ou à atividade enzimática, durante a maturação.

Santos & Chitarra (1998) estudaram as características físicas e químicas de frutos de bananeira, colhidos aos 90, 105, 120, 135 e 150 dias após a antese. Verificaram que, quando colhidos entre 105 e 120 dias de idade do cacho, os frutos apresentaram teor máximo de sólidos solúveis totais (23,83% e 25,66%, respectivamente) no grau de coloração 7 da casca (amarelo com áreas marrons). Nesse trabalho, os teores de amido foram, ligeiramente, maiores à medida que se retardou a colheita. Além disso, os cachos colhidos com 90 e 105 dias apresentaram frutos com maior vida útil, porém, aqueles com 105 dias tinham frutos maiores e composição química semelhante à dos colhidos posteriormente.

2.7. Cinética dos índices de qualidade

A cinética dos índices ou fatores de qualidade dos frutos, durante o armazenamento e processamento, vem sendo estudada por diversos autores (Ramaswamy & Tung, 1989; Corrêa, 1992; Ávila & Silva, 1999; Chen & Ramaswamy, 2002), objetivando desenvolver modelos cinéticos capazes de descrever mudanças na cor e na textura, durante o amadurecimento sob diferentes condições de armazenamento, sendo que esses modelos podem ser utilizados em sistemas automatizados de controle de qualidade.

Em geral, a taxa de variação de um determinado fator de qualidade 'C' pode ser expressa por:

$$\frac{dC}{dt} = -\beta(C)^n \quad (9)$$

Em que:

C = fator de qualidade analisado;

β = parâmetro do modelo;

t = tempo, segundo;

n = ordem do modelo.

Para a maioria dos produtos alimentícios, as relações dependentes do tempo são descritas por modelos de ordem zero (Equação 10) ou primeira ordem (Equação 11) (Lenz & Lund, 1980), obtidos por meio da integração da Equação 8, considerando-se as respectivas ordens.

$$C = C_0 \exp(-\beta t) \quad (10)$$

$$C = C_0 - \beta t \quad (11)$$

Em que:

C_0 = parâmetro relacionado ao valor inicial do fator de qualidade.

Estes modelos foram utilizados na descrição da cinética da textura da batata cozida em diferentes temperaturas (Nishia et al., 2005) e da mudança dos valores da coordenada 'a' do sistema de cor Hunter Lab de bananas, armazenadas em diferentes condições (Chen & Ramaswamy, 2002).

Ávila & Silva (1999) utilizaram a Equação 12 para descrever a degradação da cor da polpa de pêssigo, termicamente, tratada.

$$\frac{C - C_f}{C_0 - C_f} = \exp(-\beta t) \quad (12)$$

Em que:

C_f = parâmetro relacionado ao valor final do fator de qualidade.

Nedler (1962), citado por Chen & Ramaswamy (2002), apresenta o modelo sigmóide como um importante instrumento para estudo da cinética dos índices de qualidade. Um caso especial do modelo, indicado por esse autor, pode ser representado pela Equação 13, conforme proposto por Chen & Ramaswamy (2002) em estudo da cinética da coordenada 'L' do sistema Hunter Lab de cor e da diferença de cor de bananas armazenadas em diferentes temperaturas.

$$C = \partial + \frac{\alpha}{1 + \exp\left(-\left(t - t_{1/2}\right)/\beta\right)} \quad (13)$$

Em que:

∂, α = parâmetros do modelo;

$t_{1/2}$ = parâmetro do modelo que indica o tempo de meia resposta, ou seja, tempo necessário para que o valor do fator de qualidade atinja a sua metade (dias).

Corrêa (2004) utilizou, ainda, o modelo de Gompertz com três termos para descrever a evolução da cor e da textura de abacate, mantido sob diferentes condições de armazenamento.

$$C = \alpha \exp \left[-\exp \left(-\frac{t - t_{1/2}}{\beta} \right) \right] \quad (14)$$

O modelo sigmóide e o de Gompertz podem ser modificados, utilizando-se três ou quatro parâmetros, respectivamente, para obtenção de melhores ajustes aos dados, como:

$$C = \frac{\alpha}{1 + \exp \left(-(t - t_{1/2}) / \beta \right)} \quad (15)$$

$$C = \partial + \alpha \exp \left[-\exp \left(-\frac{t - t_{1/2}}{\beta} \right) \right] \quad (16)$$

O modelo gaussiano, Equação 17, também tem sido utilizado para o estudo da cinética de índices de qualidade.

$$C = \alpha \cdot \exp \left[-0,5 \left(\frac{t - t_{1/2}}{\beta} \right)^2 \right] \quad (17)$$

Todos esses modelos cinéticos são empíricos e semelhantes entre si, descrevendo um comportamento de crescimento sigmóide ou logístico, dependendo do número de parâmetros presentes. Assim, a escolha do melhor modelo pode ser, automaticamente, em função do conhecimento do comportamento da variável resposta.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Montagem do experimento

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Propriedades Físicas e Qualidade de Produtos Agrícolas, pertencente ao Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem (CENTREINAR) e no Laboratório de Análise de Frutas do Departamento de Fitotecnia, localizados na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Minas Gerais.

Foram utilizadas bananas 'Prata-Anã', provenientes de um pomar comercial, localizado no município de Linhares, Estado do Espírito Santo. Os cachos foram marcados, semanalmente, com fitas plásticas coloridas, quando a inflorescência (coração) apresentava-se, aproximadamente, 5 cm abaixo da última penca feminina. Nesta ocasião, o coração e a última penca foram eliminados, sendo que este momento foi considerado como o início do estágio de desenvolvimento do cacho.

Foram estabelecidas três épocas de colheita dos cachos, baseado no que é estabelecido comercialmente: 18, 19 e 20 semanas após a eliminação do coração, coletando-se cachos ao acaso em cada época. As colheitas foram realizadas no período de outubro de 2005 a janeiro de 2006.

De cada cacho, utilizaram-se apenas a segunda e a terceira pencas, em razão de apresentarem, entre elas, menores variações quanto ao estágio de desenvolvimento. As pencas selecionadas foram divididas em buquês

com quatro frutos cada. Os frutos com 18, 19 e 20 semanas apresentavam diâmetro médio de 37,14; 39,80 e 41,02 mm, respectivamente.

Após a seleção, os frutos foram lavados em tanques com água e detergente neutro a 0,1%, durante 5 minutos, para coagulação do látex e, em seguida, secos ao ar ambiental.

Os buquês foram transportados, em caixas forradas com papel picado para Viçosa onde, no mesmo dia, foram imersos por 5 minutos em solução de fungicida Sportak 450 CE na dosagem de 110 mL/100L de água.

Após o tratamento com fungicida, os buquês foram pesados e novamente selecionados, eliminando aqueles com frutos danificados. Em seguida, foram armazenados às temperaturas de 10, 15, 20 e $25 \pm 1^\circ\text{C}$, em câmaras do tipo BOD. A umidade relativa do ar no interior das câmaras BOD's foi mantida entre 90 e 95%, utilizando-se recipientes com água e medida com o auxílio de um psicrômetro analógico.

O experimento foi conduzido em duas etapas. Na primeira, foram avaliadas as modificações dos frutos mantidos nas temperaturas, citadas anteriormente, durante 10 dias. Na segunda etapa, os frutos, armazenados às temperaturas de 10°C e 15°C , após 10 dias nessas condições, foram transferidos para as câmaras BOD's, reguladas a $25 \pm 1^\circ\text{C}$, e avaliados até o 6º dia de armazenamento.

Após cada amostragem, os frutos foram mantidos em câmara 'BOD', regulada a $22 \pm 1^\circ\text{C}$ por 30 minutos, para que sua temperatura interna entrasse em equilíbrio com aquela do ambiente (Kajuna et al., 1998), sendo, em seguida, submetidos às análises para o estudo da cinética do amadurecimento por meio de testes mecânicos, físicos e químicos.

Para a primeira etapa, o experimento foi conduzido em parcelas subdivididas no tempo, tendo-se nas parcelas um fatorial 4×3 (4 temperaturas e 3 estádios de desenvolvimento) e, nas subparcelas, os dez dias de amostragem, sendo a unidade experimental constituída do fruto. Para a segunda etapa, o experimento foi conduzido em parcelas subdivididas no tempo, tendo-se nas parcelas um fatorial 2×3 (2 temperaturas e 3 estádios de desenvolvimento) e, nas subparcelas, os 5 dias de amostragens (0, 1, 3, 4 e 6 dias de armazenamento), sendo a

unidade experimental constituída do fruto. Para as duas etapas, utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, com três repetições.

3.2. Avaliação da cor da casca

A mudança da cor da casca dos frutos foi acompanhada, visualmente, utilizando-se a escala de classificação de acordo com a Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP, 2004), apresentada no Quadro 2. A quantificação da cor foi realizada por meio de um colorímetro tristímulo, com leitura direta de refletância das coordenadas L^* (luminosidade), a^* (tonalidades vermelha ou verde) e b^* (tonalidades amarela e azul), empregando-se a escala CIE $L^*a^*b^*$ (Figura 1) e utilizando o iluminante $10^\circ/D_{65}$.

Para cada repetição, foi utilizada a média de três determinações no sentido longitudinal do fruto.

A partir dos valores de L^* , a^* e b^* , calculou-se a diferença total de cor (DE), o ângulo de tonalidade, hue ($^\circ h^*$), o índice de saturação, croma (C^*) e o índice cromático arbitrário (CCI). Este índice foi escolhido por que potencializa a mudança da coordenada a^* , podendo melhor caracterizar a mudança de cor da casca do verde para o amarelo.

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (20)$$

$$^\circ h^* = \text{actg} (b^*/a^*) \quad (21)$$

$$CCI = \frac{1000 a^*}{L^* b^*} \quad (22)$$

A diferença total de cor foi determinada de duas formas: considerando-se a diferença entre as coordenadas cromáticas referentes aos frutos, armazenados sob duas diferentes temperaturas (T_1 e T_2) para cada tempo e estágio de desenvolvimento e, considerando a diferença entre as coordenadas cromáticas dos frutos no tempo zero (t_0) e em cada tempo de armazenamento (t_i), para cada temperatura e estágio de desenvolvimento, com i assumindo valores de 0 e de 2 a 10:

$$DE^2 = (DL^*)^2 + (Da^*)^2 + (Db^*)^2 \quad (23)$$

Sendo:

$$DL^* = L^*_{T1} - L^*_{T2} \text{ ou } DL^* = L^*_{to} - L^*_{ti} \quad (24)$$

$$Da^* = a^*_{T1} - a^*_{T2} \text{ ou } Da^* = a^*_{to} - a^*_{ti} \quad (25)$$

$$Db^* = b^*_{T1} - b^*_{T2} \text{ ou } Db^* = b^*_{to} - b^*_{ti} \quad (26)$$

3.3. Perda de matéria fresca

Para cada estágio de desenvolvimento, cada buquê foi pesado em balança eletrônica de precisão de 0,01 g, no primeiro dia do armazenamento. A partir daí, para cada temperatura, acompanhou-se diariamente a perda de matéria fresca de 3 buquês durante o período de armazenamento, sendo utilizada a mesma balança digital. Os resultados foram expressos em porcentagem, considerando-se a diferença entre o peso inicial do fruto e aquele obtido em cada período de amostragem.

3.4. Determinação do coeficiente de transpiração

O coeficiente de transpiração foi determinado pela relação entre a diferença de pressão de vapor e a taxa de perda de água (Equação 2).

Para obtenção da taxa de perda de água em quilo por quilo de produto fresco por segundo ($\text{kg.kg}^{-1}.\text{s}^{-1}$), considerou-se a perda de água acumulada no final do 10º dia de armazenamento. Para o cálculo de DPV, a pressão de vapor de água da superfície do produto, P_s , foi obtida, para cada temperatura de armazenamento, segundo a equação de Tetens:

$$P_s = 610,78 \cdot 10^{(7,5.T)/(237,3+T)} \quad (18)$$

Em que:

T: temperatura de armazenamento, °C.

A pressão de vapor de água do ar ambiental (P_a) foi obtida, considerando-se a umidade relativa média igual a 92,5%, ou,

$$P_a = \frac{UR}{100} P_s = \frac{92,5}{100} P_s \quad 19)$$

Desta forma, o coeficiente de transpiração para a banana foi obtido para cada estágio de desenvolvimento e temperatura de armazenamento.

3.5. Avaliação da textura

As mudanças na textura da casca e da polpa dos frutos de banana durante o armazenamento, para cada época de colheita e temperatura, foram analisadas em uma máquina universal de testes, *TA.HD Texture Analyser, Stable Micro Systems* (Figura 2), (Errington et al., 1997; Kajuna et al., 1998; Wu & Abbott, 2002), dotada do software *Texture Expert for Windows^R*.

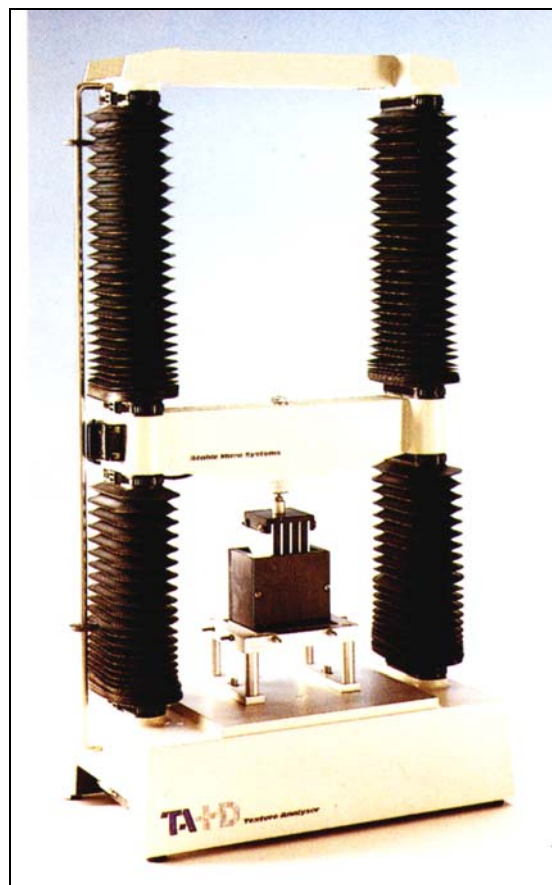


Figura 2. Máquina Universal de Testes modelo *TA.HD Texture Analyser, Stable Micro Systems*.

3.5.1. Avaliação da textura da polpa

Para avaliar as mudanças na textura da polpa durante o armazenamento, foram realizados testes destrutivos de penetração em três frutos inteiros sem casca. Após testes preliminares, adotaram-se as melhores condições, que se ajustaram à sensibilidade do aparelho em detectar a força de penetração na polpa. Assim, foi utilizada uma sonda cilíndrica com 0,004 m de diâmetro, com velocidade de penetração de $0,001 \text{ m.s}^{-1}$ e distância de perfuração de 0,015 m de profundidade (Figura 3). As medições foram realizadas em três pontos equidistantes, no sentido longitudinal de cada fruto, obtendo-se um valor médio da força máxima de penetração (N), que expressa a resistência da polpa à penetração.

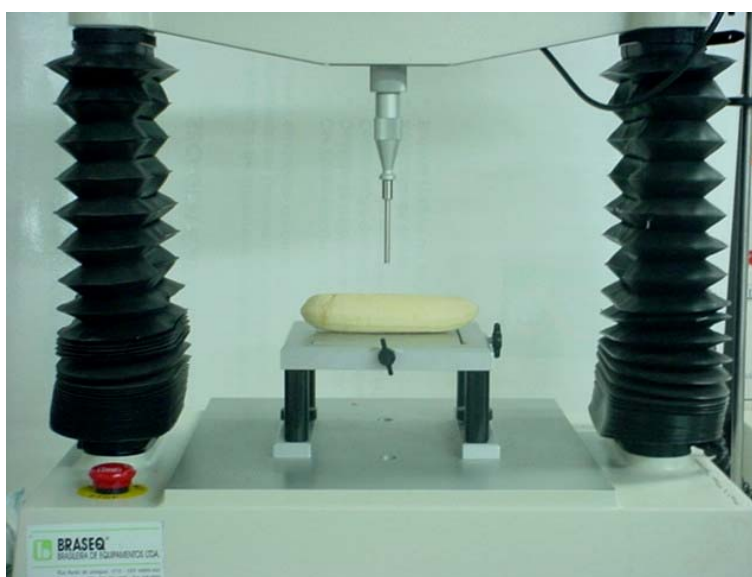


Figura 3. Ilustração do teste de penetração na polpa.

3.5.2. Avaliação da textura da casca

Para estudar as mudanças na textura da casca durante o armazenamento, realizou-se o teste de penetração em três frutos inteiros com casca. Após testes preliminares, as melhores condições que se ajustaram à sensibilidade do aparelho em detectar a força de penetração na

casca foram adotadas. Assim, utilizou-se uma sonda cilíndrica de 0,004 m de diâmetro com uma velocidade de perfuração de $0,001 \text{ m.s}^{-1}$ e distância de perfuração de 0,003 m de profundidade (Figura 4).

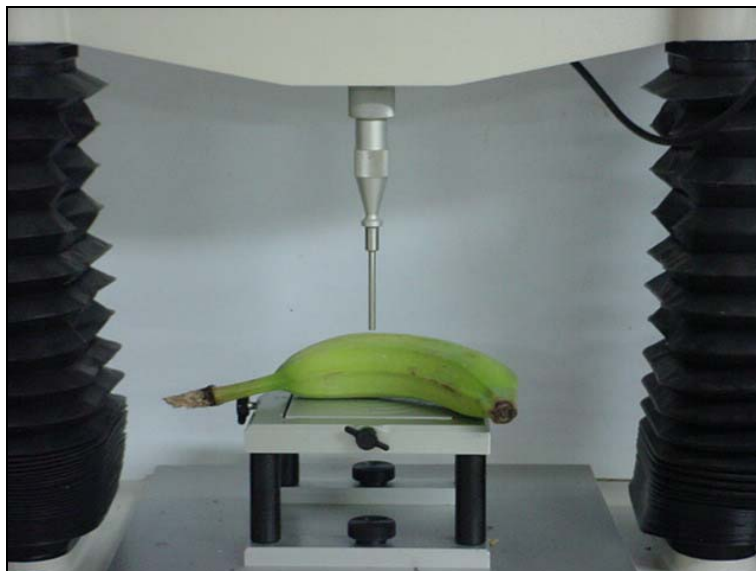


Figura 4. Ilustração do teste de penetração na casca.

As medições foram realizadas em três pontos equidistantes, no sentido longitudinal de cada fruto, obtendo-se um valor médio da força máxima de penetração (N) que está relacionada à resistência da casca.

3.5.3. Avaliação da textura do fruto inteiro com casca

Para avaliação das mudanças na textura do fruto inteiro com casca, realizou-se o teste de compressão-relaxação (Figura 5) em três frutos. Após testes preliminares, foram adotadas as melhores condições que se ajustaram à sensibilidade do aparelho em detectar a relaxação dos frutos. Assim, utilizou-se um plano de compressão de 0,10 m de diâmetro. Inicialmente, os frutos foram submetidos à força de compressão de 4 N a uma taxa de compressão de $0,01 \text{ m.s}^{-1}$ (Errington et al., 1997). Após o teste de compressão, a deformação foi mantida constante e a relaxação do fruto

foi registrada durante 10 segundos (Errington et al., 1997; Wu & Abbott, 2002).



Figura 5 . Ilustração do teste de compressão-relaxação.

Nesses testes, foram obtidas as curvas de relaxação, objetivando caracterizar o comportamento viscoelástico do fruto. Em seguida, ajustou-se o modelo de Peleg (1979), Equação 5, para descrição das curvas de relaxação e predição dos parâmetros de relaxação.

3.6. Avaliação química

3.6.1. Amido e açúcares solúveis totais

Após os testes de penetração da polpa, amostras de aproximadamente 500 mg foram retiradas da região mediana do fruto, tendo-se o cuidado de não pegar a parte danificada durante o teste de penetração. As amostras foram colocadas em etanol 80% fervente e armazenadas em freezer a -20°C até a realização das análises de amido e açúcares solúveis totais.

Para extração dos açúcares, as amostras foram retiradas do freezer e maceradas em etanol 80% fervente em almofariz com areia esterilizada. Em seguida, foram homogeneizadas e centrifugadas a 7000 g durante 10 minutos. O sobrenadante foi coletado e o precipitado foi submetido à uma extração seguida de uma nova centrifugação, repetindo-se a operação por mais duas vezes. Em todas essas operações, os sobrenadantes foram misturados e o volume final completado com etanol 80% para 25 mL. Alíquotas de dez mililitros do extrato foram evaporadas até a secagem em evaporador rotativo a vácuo, a aproximadamente 45°C, sendo o resíduo ressuspenso em 5 mL de água destilada e, imediatamente, filtrado em papel de filtro Wattman n° 5. Posteriormente, as amostras foram armazenadas em frascos de vidro e colocadas em freezer à temperatura de -20°C. Posteriormente, alíquotas foram tomadas do extrato filtrado para determinação dos açúcares solúveis totais, por reação com antrona (Hodge & Hofreiter, 1962).

Para extração do amido, o resíduo das extrações alcoólicas foi novamente suspenso com ácido perclórico 30%, por três vezes, com volumes de 4,0 mL, 4,0 mL e 3,5 mL, com tempo de reação de 20, 30 e 20 minutos, para as três extrações, respectivamente, adicionando-se, sempre ao final da reação, 10 mL de água destilada. Após cada extração, realizou-se uma centrifugação a 7000 g, durante dez minutos. Os sobrenadantes foram transferidos para um balão de 50 mL, cujo volume foi completado com água destilada. Alíquotas foram utilizadas para quantificação do amido, por meio do método de McCready et al. (1950), modificado por Patel (1970).

A quantificação de açúcares solúveis totais e de amido, pela reação com antrona foi realizada com reagente à concentração de 0,1% em H₂SO₄ 28 N, adicionando-se 5 mL a cada amostra. A curva padrão para determinação espectrofotométrica dos açúcares e do amido foi preparada com D-glicose. Para as leituras de absorvância, o comprimento de onda do espectrofotômetro foi ajustado a 620 nm. Os valores foram expressos em porcentagem.

3.7. Cinética dos índices de qualidade

Para a etapa 1, após obtenção dos índices físicos, mecânicos e químicos, estudou-se a cinética destes índices no tempo para cada estágio de desenvolvimento e temperatura de armazenamento, empregando-se as equações 14, 15, 16 e 17.

3.8. Análise estatística

Para a primeira etapa, os dados foram analisados por meio das análises de variância e regressão. Na avaliação de perda de matéria fresca, os modelos cinéticos, ajustados por meio de regressão linear, foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste “t” de Student, no coeficiente de determinação e no potencial para explicar o fenômeno biológico. Nos modelos ajustados com regressão não-linear, a escolha foi realizada com base nos dois últimos itens. Para a segunda etapa, os dados foram avaliados por meio de análise descritiva.

Para o ajuste dos modelos não-lineares aos dados experimentais das variáveis, realizou-se análise de regressão não-linear, pelo método Quasi-Newton, utilizando-se o programa computacional Sigmaplot 8.0.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

ETAPA 1 – CARACTERÍSTICAS DOS FRUTOS MANTIDOS A 10, 15, 20 E 25°C DURANTE 10 DIAS DE ARMAZENAMENTO

4.1. Mudanças na cor da casca durante o amadurecimento

4.1.1. Evolução das coordenadas 'L*', 'a*' e 'b*'

Durante o período de armazenamento, verificou-se que os frutos com 18 semanas de desenvolvimento não amadureceram, independentemente da temperatura de armazenamento, permanecendo a cor verde da casca. No entanto, os frutos com 19 e 20 semanas apresentaram uma evolução na cor da casca de verde para amarelo, quando armazenados em temperaturas mais elevadas. Foi possível descrever esta mudança, por meio da evolução dos valores observados das coordenadas 'L*', 'a*' e 'b*', apresentada nas Figuras 6, 7 e 8.

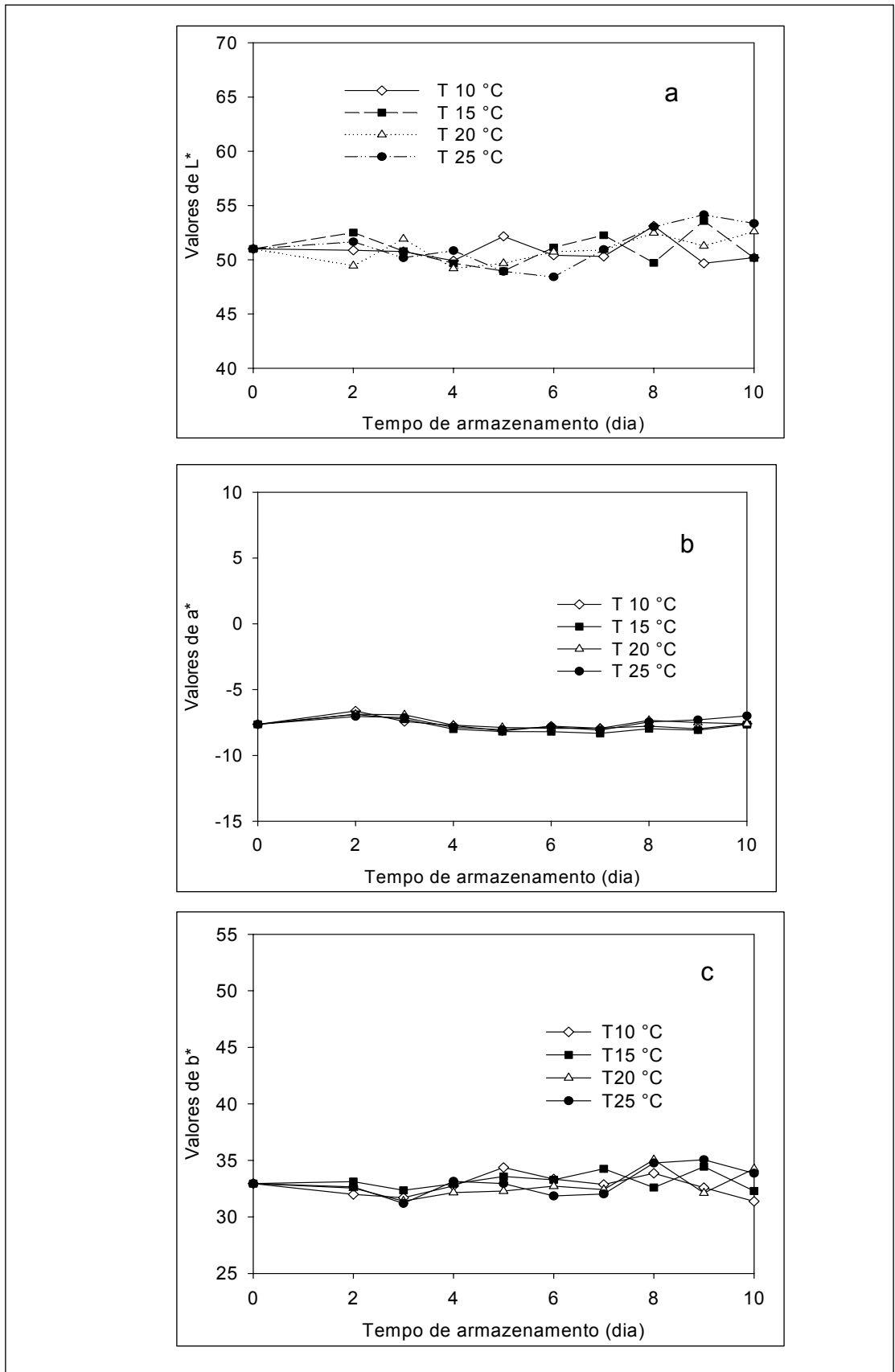


Figura 6. Valores observados de 'L*' (a), 'a*' (b) e 'b*' (c) da casca dos frutos de banana 'Prata-Anã' com 18 semanas de desenvolvimento, para cada temperatura durante o armazenamento.

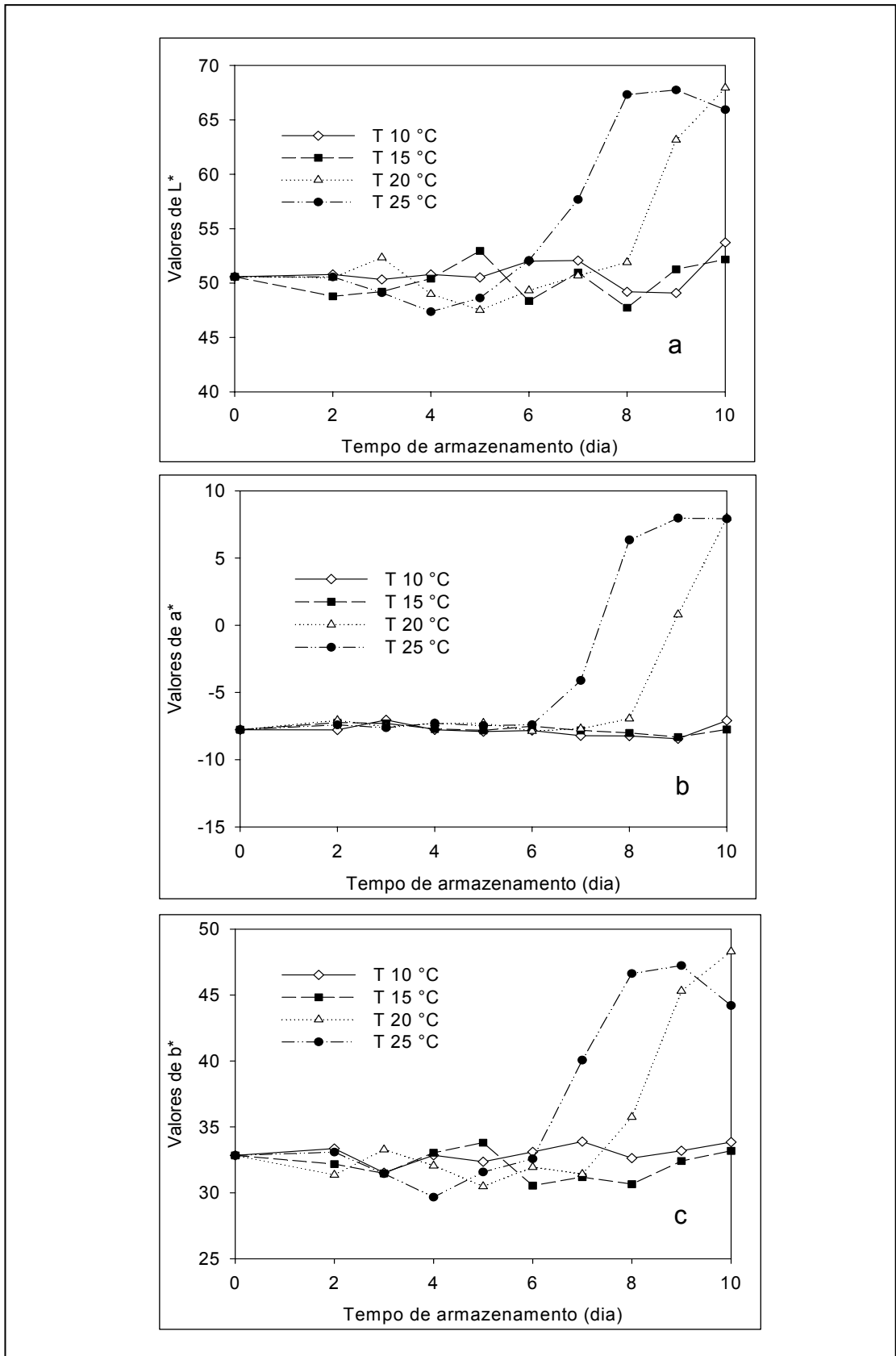


Figura 7. Valores observados de 'L*' (a), 'a*' (b) e 'b*' (c) da casca dos frutos da bananeira 'Prata-Anã' com 19 semanas de desenvolvimento, para cada temperatura durante o armazenamento.

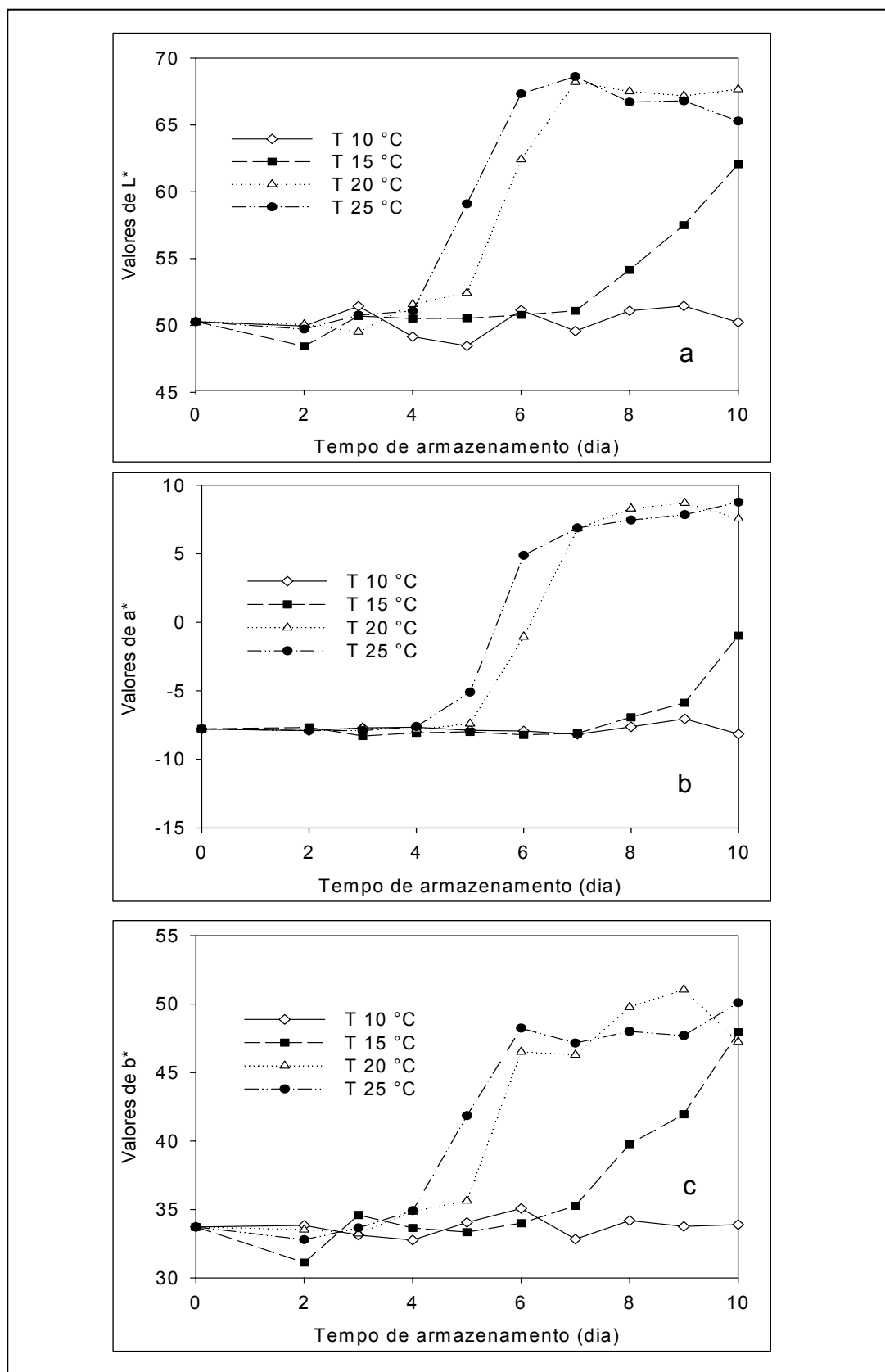


Figura 8. Valores observados de 'L*' (a), 'a*' (b) e 'b*' (c) da casca dos frutos de bananeira 'Prata-Anã' com 20 semanas de desenvolvimento, para cada temperatura durante o armazenamento.

Verifica-se que, para 18 semanas, os valores das coordenadas 'L*', 'a*' e 'b*' não variaram durante o armazenamento, para todas as temperaturas, oscilando em torno de um valor médio de 51,37, -7,64 e 33,77, respectivamente (Figura 6). Tal comportamento foi coerente com a permanência da cor verde da casca dos frutos durante o armazenamento, como apresentado nos Quadros 3 a 6.

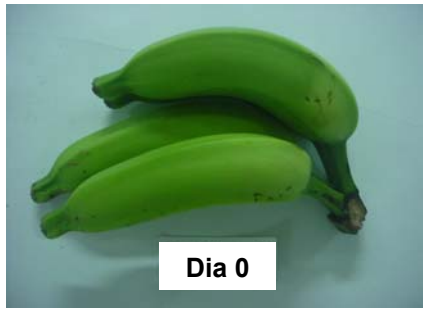

No entanto, os frutos com 19 semanas de desenvolvimento e armazenados às temperaturas de 25 e 20°C apresentaram evolução dos valores de 'L*', 'a*' e 'b*' ao longo do armazenamento, sendo que, para a temperatura de 25°C, o aumento das coordenadas foi evidente a partir do 6º dia de armazenamento, enquanto, para 20°C, este aumento ocorreu a partir do 8º dia (Figura 7). Para o estágio de desenvolvimento de 20 semanas, somente os frutos armazenados a 10°C não apresentaram evolução da cor da casca durante o armazenamento; no entanto, aqueles armazenados a 25, 20 e 15°C apresentaram um aumento a partir do 4º, 5º e 7º dias de armazenamento, respectivamente (Figura 8). Este comportamento das coordenadas L*, a* e b* acompanhou a mudança na coloração da casca dos frutos, conforme apresentado nos Quadros 7 a 13.

Observa-se que, ao final dos 10 dias de armazenamento, os frutos com coloração da casca totalmente amarela apresentaram valores de L*, a* e b* superiores a 65,0; 7,5 e 40,0, respectivamente.

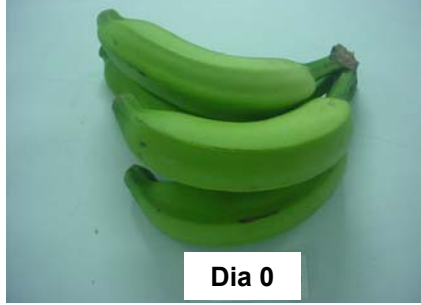


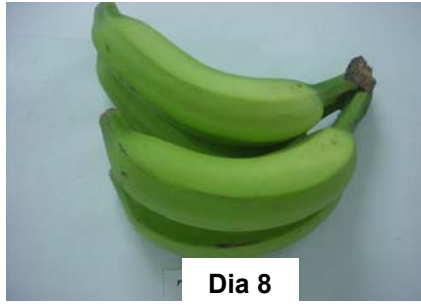

A mudança nos valores de 'a*' de negativo para positivo variou conforme o tratamento, sendo que, para os frutos oriundos de cachos com 19 semanas, esta mudança ocorreu no 8º e 7º dia, quando armazenados a 20 e 25°C, respectivamente. Esta mudança de valores negativos para positivos indica uma redução na predominância do verde. Para os frutos com 20 semanas, ela aconteceu no 7º (20°C) e 6º dia (25°C), indicando uma perda na cor verde da casca.

Nota-se, ainda, que as coordenadas variaram semelhantemente, confirmando uma relação entre elas, uma vez que a coordenada 'a*' define a perda da cor verde e a coordenada 'b*' a evolução do amarelo.





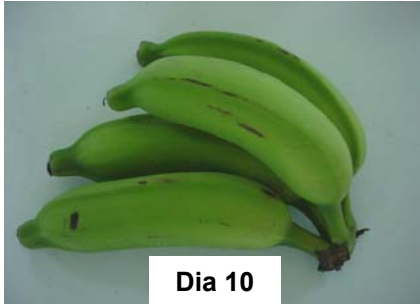
Quadro 3. Evolução da coloração da casca dos frutos com 18 semanas de desenvolvimento, durante 10 dias armazenamento a 10°C; respectivos valores observados médios de L*, a* e b*

Coloração da casca	L*	a*	b*
 <p>Dia 0</p>	50,99	-7,63	32,95
 <p>Dia 5</p>	52,16	-8,13	34,37
 <p>Dia 6</p>	50,42	-7,77	33,35
 <p>Dia 8</p>	53,12	-7,78	33,86
 <p>Dia 10</p>	50,21	-7,59	31,83

Quadro 4. Evolução da coloração da casca dos frutos com 18 semanas de desenvolvimento, durante 10 dias armazenamento a 15°C; respectivos valores observados médios de L*, a* e b*

Coloração da casca	L*	a*	b*
 <p>Dia 0</p>	50,99	-7,63	32,95
 <p>Dia 5</p>	48,93	-8,19	33,57
 <p>Dia 6</p>	51,14	-8,19	33,29
 <p>Dia 8</p>	49,72	-7,97	32,59
 <p>Dia 10</p>	50,17	-7,65	32,29

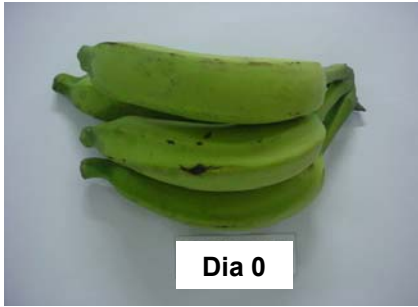

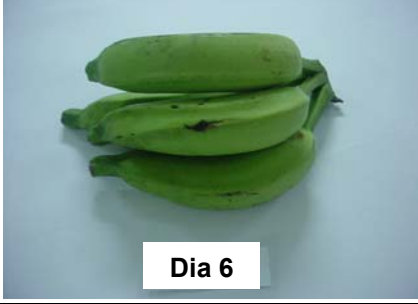

Quadro 5. Evolução da coloração da casca dos frutos com 18 semanas de desenvolvimento, durante 10 dias armazenamento a 20°C; respectivos valores observados médios de L*, a* e b*

Coloração da casca	L*	a*	b*
 <p>Dia 0</p>	50,99	-7,63	32,95
 <p>Dia 5</p>	49,67	-7,87	32,29
 <p>Dia 6</p>	50,73	-7,94	32,72
 <p>Dia 8</p>	52,48	-7,33	35,06
 <p>Dia 10</p>	52,61	-7,59	34,26

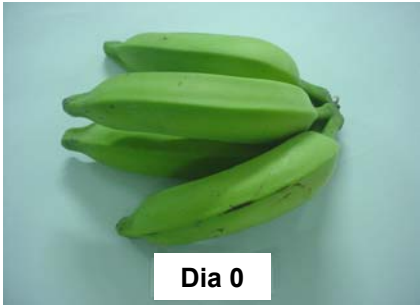




Quadro 6. Evolução da coloração da casca dos frutos com 18 semanas de desenvolvimento, durante 10 dias armazenamento a 25°C; respectivos valores observados médios de L*, a* e b*

Coloração da casca	L*	a*	b*
 <p>Dia 0</p>	50,99	-7,63	32,94
 <p>Dia 5</p>	48,92	-8,04	32,96
 <p>Dia 6</p>	48,42	-7,82	31,85
 <p>Dia 8</p>	53,03	-7,45	34,76
 <p>Dia 10</p>	53,35	-6,99	33,86

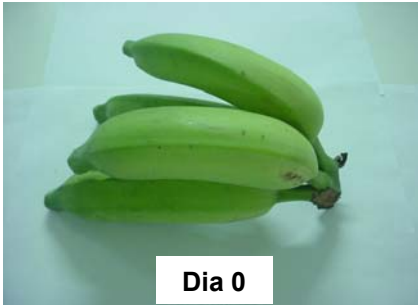

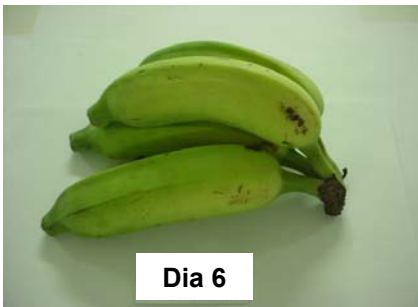


Quadro 7. Evolução da coloração da casca dos frutos com 19 semanas de desenvolvimento, durante 10 dias armazenamento a 10°C; respectivos valores observados médios de L*, a* e b*

Coloração da casca	L*	a*	b*
 <p>Dia 0</p>	50,58	-7,77	32,83
 <p>Dia 5</p>	50,52	-7,91	32,36
 <p>Dia 6</p>	52,01	-7,83	33,11
 <p>Dia 8</p>	49,19	-8,24	32,63
 <p>Dia 10</p>	53,73	-7,09	33,85

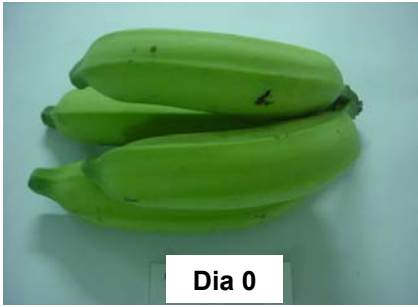


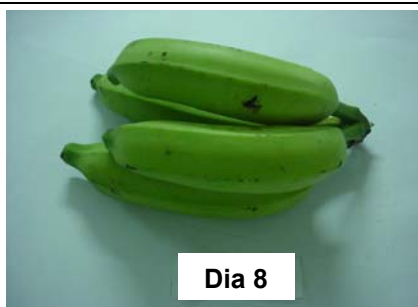

Quadro 8. Evolução da coloração da casca dos frutos com 19 semanas de desenvolvimento, durante 10 dias armazenamento a 15°C; respectivos valores observados médios de L*, a* e b*

Coloração da casca	L*	a*	b*
 <p>Dia 0</p>	50,58	-7,77	32,83
 <p>Dia 5</p>	52,96	-7,82	33,80
 <p>Dia 6</p>	48,36	-7,52	30,55
 <p>Dia 8</p>	47,74	-8,01	30,66
 <p>Dia 10</p>	52,17	-7,76	33,18

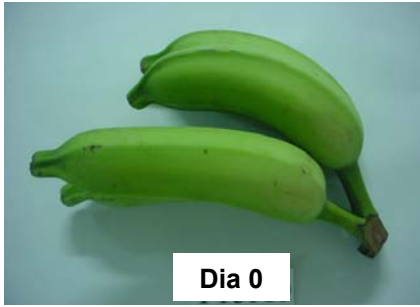




Quadro 9. Evolução da coloração da casca dos frutos com 19 semanas de desenvolvimento, durante 10 dias armazenamento a 25°C; respectivos valores observados médios de L*, a* e b*

Coloração da casca	L*	a*	b*
 <p>Dia 0</p>	50,58	-7,77	32,83
 <p>Dia 5</p>	48,63	-7,47	31,58
 <p>Dia 6</p>	52,08	-7,40	32,57
 <p>Dia 8</p>	67,32	6,35	46,63
 <p>Dia 10</p>	65,93	7,92	44,21

Quadro 10. Evolução da coloração da casca dos frutos com 20 semanas de desenvolvimento, durante 10 dias armazenamento a 10°C; respectivos valores observados médios de L*, a* e b*

Coloração da casca	L*	a*	b*
 <p>Dia 0</p>	50,29	-7,79	33,72
 <p>Dia 5</p>	48,48	-7,88	34,05
 <p>Dia 6</p>	51,15	-7,93	35,07
 <p>Dia 8</p>	51,09	-7,62	34,19
 <p>Dia 10</p>	50,24	-8,15	33,89



Quadro 11. Evolução da coloração da casca dos frutos com 20 semanas de desenvolvimento, durante 10 dias armazenamento a 15°C; respectivos valores observados médios de L*, a* e b*

Coloração da casca	L*	a*	b*
 <p>Dia 0</p>	50,29	-7,79	33,72
 <p>Dia 5</p>	50,54	-7,99	33,34
 <p>Dia 6</p>	50,79	-8,22	34,00
 <p>Dia 8</p>	54,16	-6,93	39,77
 <p>Dia 10</p>	62,05	-0,98	47,94

Quadro 12. Evolução da coloração da casca dos frutos com 20 semanas de desenvolvimento, durante 10 dias armazenamento a 20°C; respectivos valores observados médios de L*, a* e b*

Coloração da casca	L*	a*	b*
 <p>Dia 0</p>	50,29	-7,79	33,72
 <p>Dia 5</p>	52,43	-7,39	35,64
 <p>Dia 6</p>	62,43	-1,05	46,51
 <p>Dia 8</p>	67,51	8,29	49,78
 <p>Dia 10</p>	67,67	7,56	47,23

Quadro 13. Evolução da coloração da casca dos frutos com 20 semanas de desenvolvimento, durante 10 dias armazenamento a 25°C; respectivos valores observados médios de L*, a* e b*

Coloração da casca	L*	a*	b*
 <p>Dia 0</p>	50,29	-7,79	33,72
 <p>Dia 5</p>	59,09	-5,09	41,85
 <p>Dia 6</p>	67,34	4,88	48,24
 <p>Dia 8</p>	66,71	7,46	47,99
 <p>Dia 10</p>	65,29	8,76	50,10

Esta variação pode ser mais acentuada para uma coordenada, conforme observado por Álvares et al. (2003), os quais verificaram uma evolução mais acentuada da coordenada 'a*' em comparação com a coordenada 'b*'. Ressalta-se que, no trabalho realizado por Álvares et al. (2003), os frutos não alcançaram o estágio máximo de maturação como ocorreu com alguns tratamentos do presente trabalho, não apresentando, portanto, um aumento semelhante das duas coordenadas. Este aumento simultâneo nos valores das coordenadas 'a*' e 'b*' está relacionado ao decréscimo da clorofila, responsável pela cor verde nos frutos e com o simultâneo desmascaramento de carotenóides que, possivelmente, ocorre com a degradação da clorofila (Lizada et al., 1990, citados por Vilas Boas et al., 1996; Chitarra & Chitarra, 2005).

4.1.2. Diferença total de cor

4.1.2.1. Influência da temperatura na cor da casca

Para os frutos com 18 semanas de desenvolvimento, nota-se nos Quadros 3 a 6 que, ao comparar bananas armazenadas em duas temperaturas diferentes (T10 e T15, por exemplo), não houve diferenças marcantes na cor da casca, para cada tempo de armazenamento. Essas diferenças são representadas, gráfica e numericamente, na Figura 9 e Tabela 2A do anexo, respectivamente.

Para os frutos com 19 semanas (Quadros 7 a 9 e Figura 10), ao se comparar aqueles armazenados a 10°C e a 15°C, observa-se que não ocorreram diferenças significativas da cor. No entanto, confrontando os frutos armazenados nas demais temperaturas, verificam-se diferenças pronunciadas da cor durante o armazenamento, sendo que as maiores diferenças foram observadas no 9º dia entre os frutos armazenados a 10 (estádio 1) e 25°C (estádio 7) e no 8º dia entre aqueles armazenados a 15 (estádio 1) e 25°C (estádio 7). Observa-se que a diferença de cor diminui, consideravelmente, entre os frutos armazenados a 20 e 25°C a partir do 8º dia. Isto ocorreu por que os frutos armazenados em maior temperatura

começam a amadurecer primeiro que aqueles armazenados na menor temperatura e, depois, o ponto de maturação deste aproxima-se do primeiro.

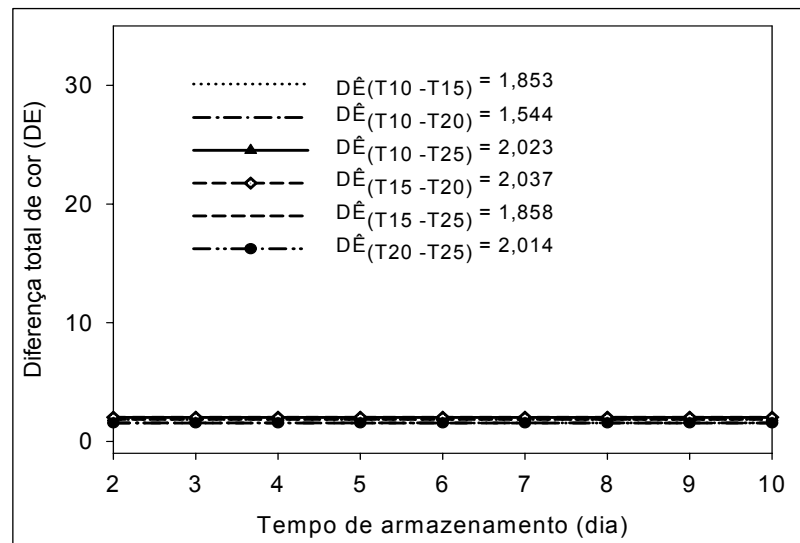


Figura 9. Diferenças observadas e estimadas entre a cor da casca dos frutos de bananeira 'Prata-Anã' com 18 semanas de desenvolvimento, armazenados em duas diferentes temperaturas.

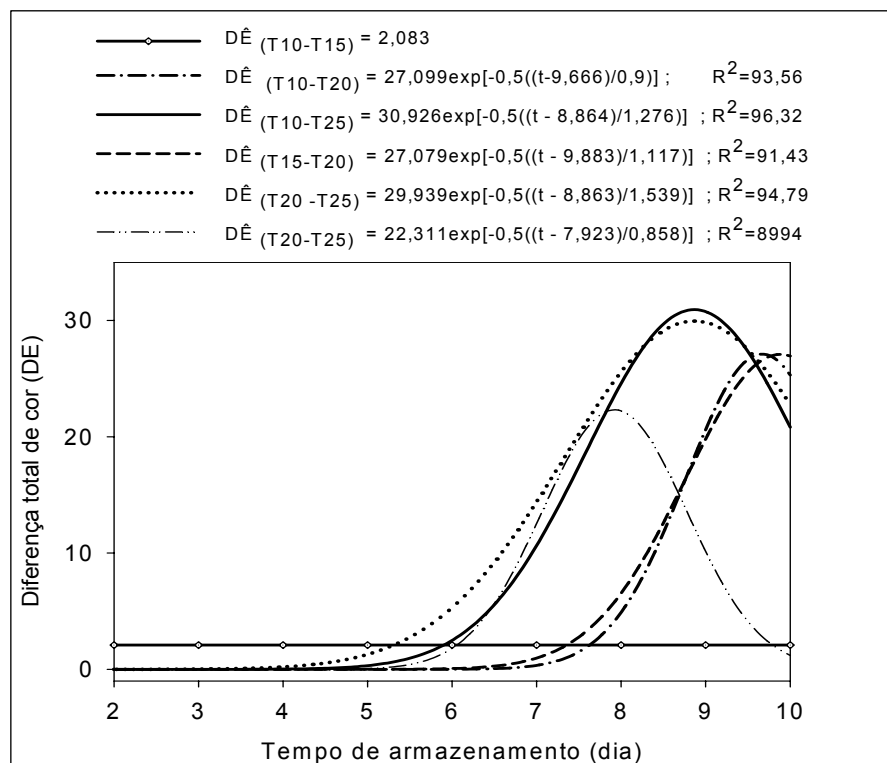


Figura 10. Diferenças observadas e estimadas entre a cor da casca dos frutos de bananeira 'Prata-Anã' com 19 semanas de desenvolvimento, armazenados em duas diferentes temperaturas.

Para os frutos com 20 semanas de desenvolvimento, a diferença de cor foi menos pronunciada entre os frutos mantidos a 20 e 25°C, atingindo uma diferença considerável no 5º dia, mas diminuindo a partir do 6º dia (Figura 11). No 5º dia, os frutos armazenados a 20°C apresentavam-se no estágio 2 de coloração (verde com traços amarelados), enquanto aqueles armazenados a 25°C apresentavam-se no estágio 4 (mais amarelo que verde). As maiores diferenças foram encontradas no 7º dia entre os frutos armazenados a 10 (estádio 1) e 25°C (estádio 7).

O comportamento das diferenças de cor entre os frutos armazenados em duas temperaturas diferentes, para cada estágio de desenvolvimento, representado nas Figuras 9, 10 e 11 foi, satisfatoriamente, obtido pelo modelo de Gaussian (Equação 27) com três parâmetros, ajustado aos dados calculados.

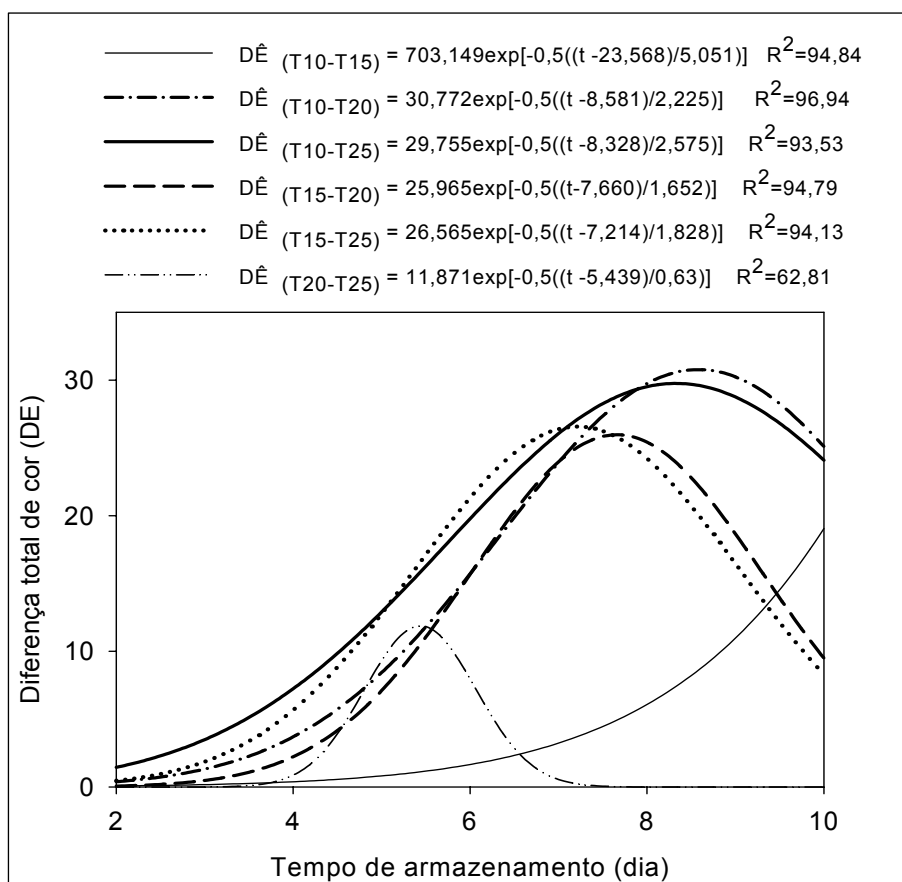


Figura 11. Diferenças observadas e estimadas entre a cor da casca dos frutos de banana 'Prata-Anã' com 20 semanas de desenvolvimento, armazenados em duas diferentes temperaturas.

$$C = \alpha \cdot \exp \left[-0,5 \left(\frac{t - t_{1/2}}{\beta} \right)^2 \right] \quad (27)$$

4.1.2.2. Diferença total de cor no tempo

Conforme apresentado nos Quadros 3 a 6, os frutos com 18 semanas de desenvolvimento não sofreram alteração de cor, durante o armazenamento, independentemente da temperatura à qual foram armazenados. No entanto, os frutos com 19 e 20 semanas de desenvolvimento (Quadros 7 a 13) apresentaram alteração de cor, quando armazenados às temperaturas de 20 e 25°C, sendo que aqueles com 20 semanas de desenvolvimento também sofreram alteração de cor, quando armazenados a 15°C.

Nas Figuras 12 a 14, tem-se a representação gráfica das diferenças de cor entre os frutos no tempo 'zero' e em cada tempo de armazenamento, para cada estágio de desenvolvimento e temperatura de armazenamento.

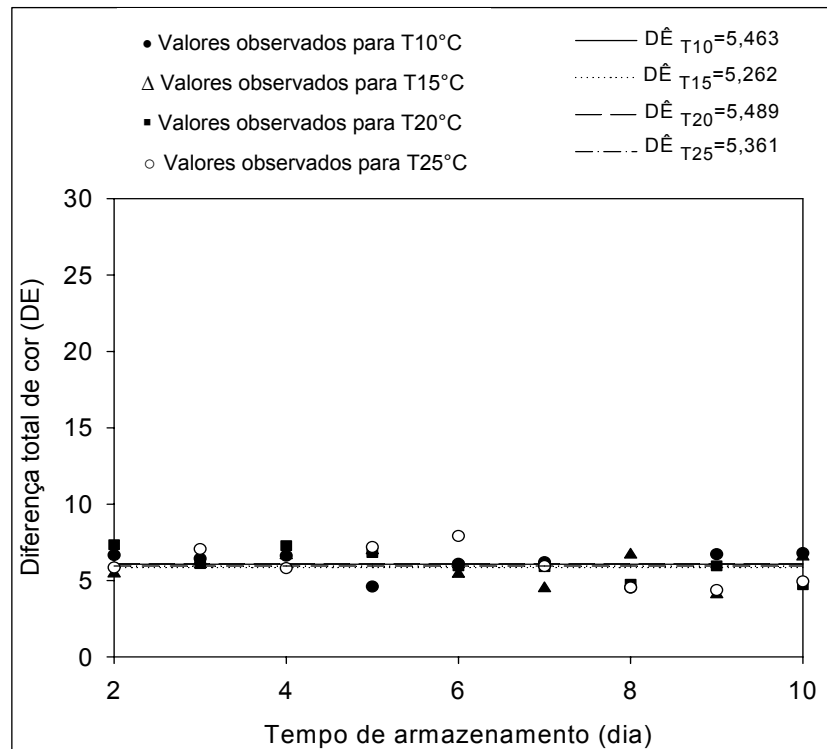


Figura 12. Valores observados e estimados da diferença de cor na casca dos frutos de bananeira 'Prata-Anã' com 18 semanas de desenvolvimento, para cada temperatura, durante o armazenamento.

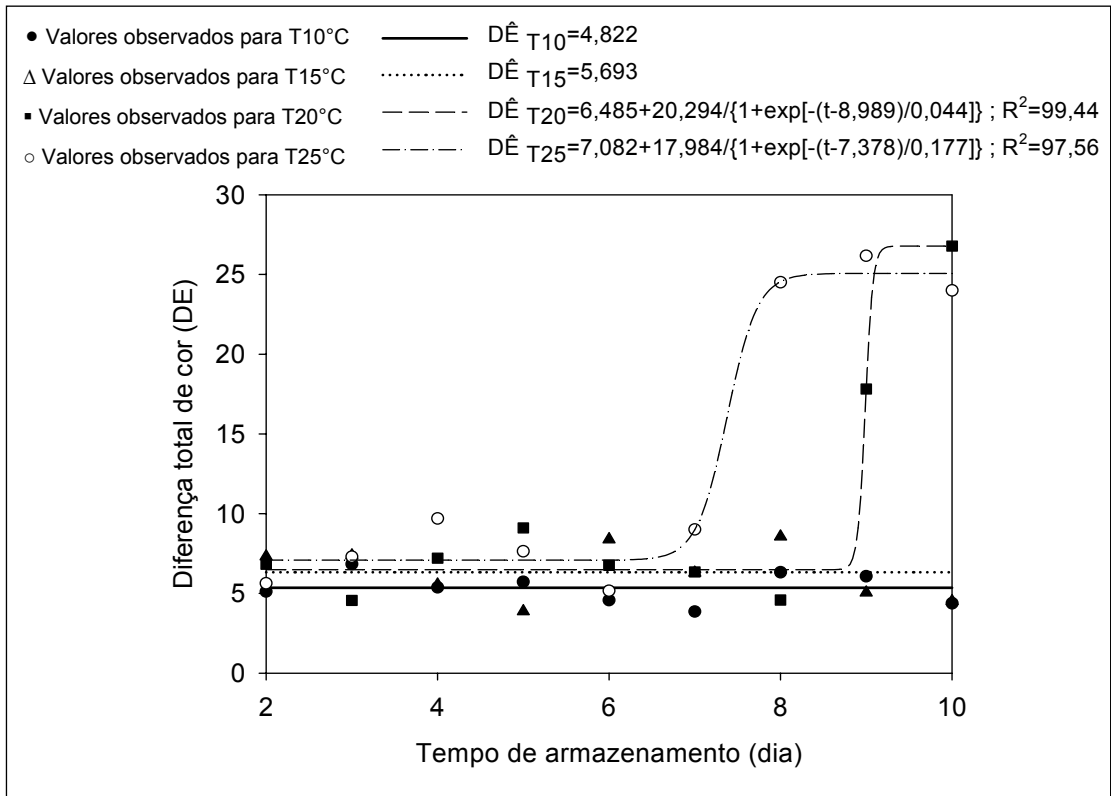


Figura 13. Valores observados da diferença de cor da casca dos frutos de bananeira 'Prata-Anã' com 19 semanas de desenvolvimento, para cada temperatura, durante o armazenamento.

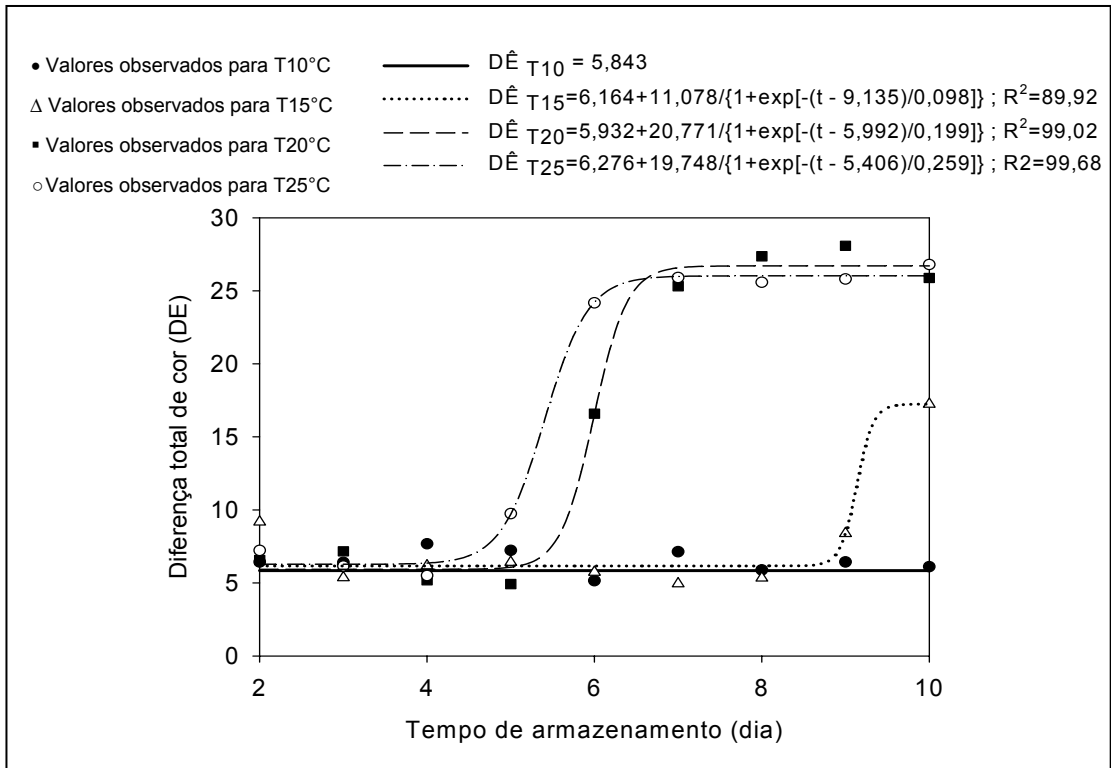


Figura 14. Valores observados da diferença de cor na casca dos frutos de bananeira 'Prata-Anã' com 20 semanas de desenvolvimento, para cada temperatura, durante o armazenamento.

O modelo Sigmóide com quatro parâmetros (Equação 28) ajustou-se, satisfatoriamente, aos dados observados de diferença total de cor, descrevendo numericamente a alteração na cor da casca, em função do tempo de armazenamento para cada temperatura e estágio de desenvolvimento do cacho de banana.

$$C = \delta + \frac{\alpha}{1 + \exp\left(-\frac{t - t_{1/2}}{\beta}\right)} \quad (28)$$

4.1.3. Evolução dos índices cromáticos hue, croma e CCI

Na Figura 15, verifica-se que para os frutos provenientes de cachos colhidos com 18 semanas de desenvolvimento, o ângulo hue não variou significativamente ao longo do tempo, para todas as temperaturas de armazenamento. No entanto, observa-se uma mudança nos valores do ângulo hue, para os frutos oriundos de cachos com 19 (Figura 16) e 20 semanas de desenvolvimento (Figura 17). Esta mudança indica a evolução da tonalidade da cor da casca da banana de verde para amarelo (Figura 1), a qual variou conforme o tratamento. Para os frutos de cachos colhidos com 19 semanas de desenvolvimento, esta mudança teve início entre o 7º e o 8º dia, quando armazenados a 20°C e entre o 5º e o 6º dia a 25°C. Para os frutos de cachos com 20 semanas, a evolução da cor amarela iniciou-se entre o 7º e o 8º dia, quando armazenados a 15°C, entre o 4º e 5º dia a 20°C e entre o 3º e 4º dia a 25°C.

Aos dados observados de hue (°h) ajustou-se o modelo de Gompertz com 4 parâmetros (Equação 29), que descreveu, satisfatoriamente, o comportamento do ângulo hue durante o armazenamento, para cada estágio de desenvolvimento e temperatura de armazenamento.

$$C = \delta + \alpha \exp\left[-\exp\left(-\frac{t - t_{1/2}}{\beta}\right)\right] \quad (29)$$

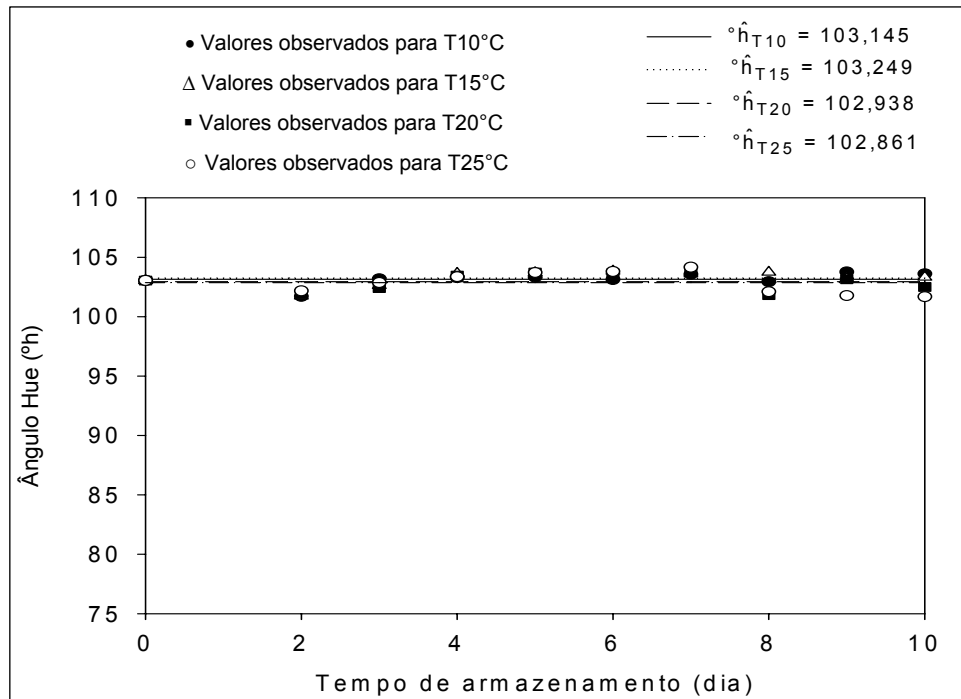


Figura 15. Valores observados e estimados do ângulo Hue da casca dos frutos de banana 'Prata-Anã' com 18 semanas de desenvolvimento, para cada temperatura, durante o armazenamento.

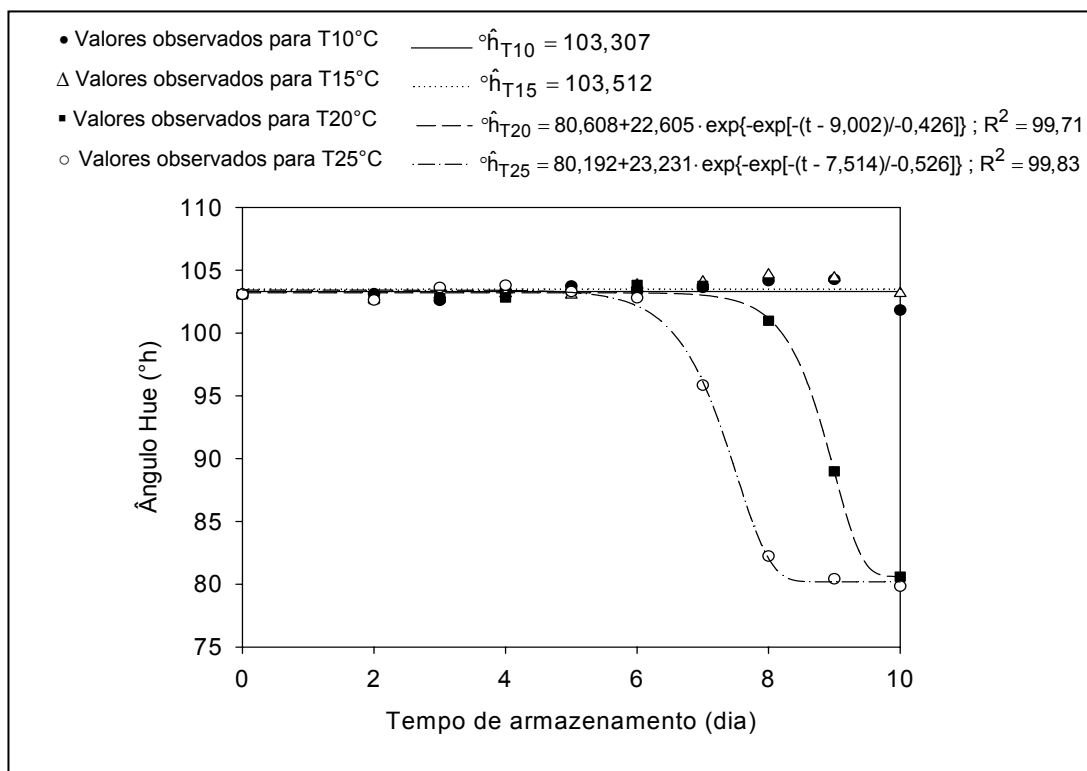


Figura 16. Valores observados e estimados do ângulo Hue da casca dos frutos de banana 'Prata-Anã' com 19 semanas de desenvolvimento, para cada temperatura, durante o armazenamento.

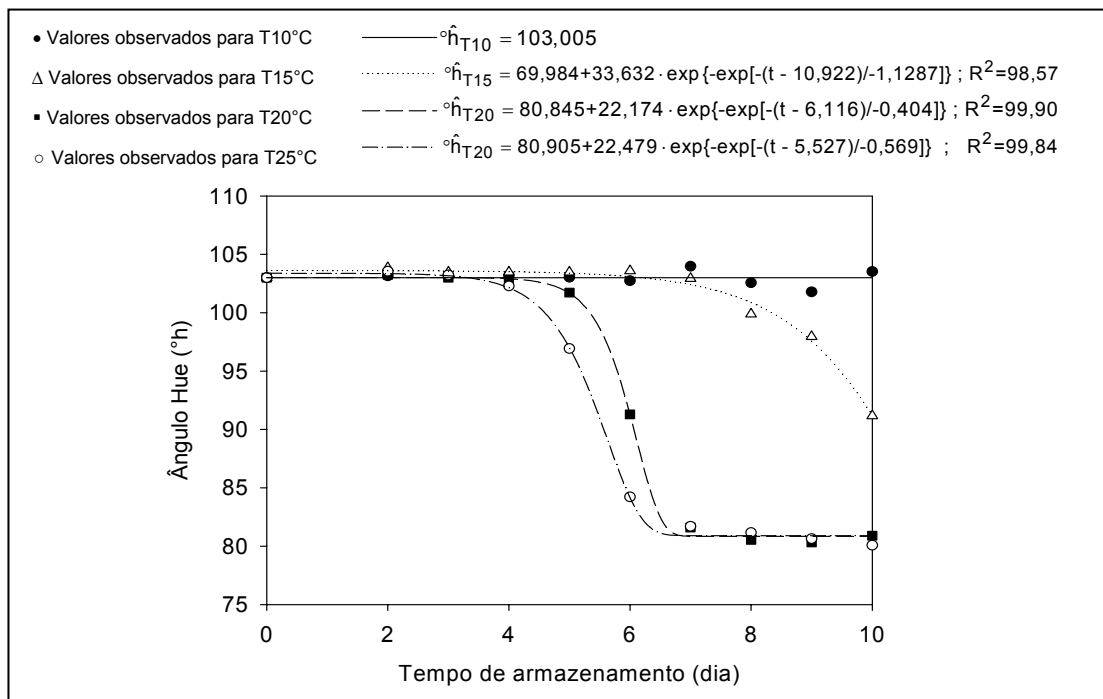


Figura 17. Valores observados e estimados do ângulo Hue da casca dos frutos de bananeira 'Prata-Anã' com 20 semanas de desenvolvimento, para cada temperatura, durante o armazenamento.

O índice de saturação, croma, da cor da casca das bananas, para todas as temperaturas, não variou ao longo do tempo de armazenamento, para os frutos de cachos colhidos com 18 semanas de desenvolvimento (Figura 18), apresentando valores médios estimados de 33,67; 34,09; 33,65 e 33,89, quando armazenados a 10, 15, 20 e 25°C, respectivamente.

Os frutos com 19 semanas de desenvolvimento apresentaram evolução do índice de saturação croma, a partir do 7º dia de armazenamento a 20 e 25°C (Figura 19). Para os frutos de cachos com 20 semanas de desenvolvimento e armazenados à temperatura de 15°C, observa-se evolução do índice de saturação croma, diferentemente do que foi observado para aqueles de 18 e 19 semanas, que não apresentaram mudanças, quando armazenados sob esta condição (Figura 20).

O modelo de Gompertz com quatro parâmetros (Equação 29) ajustou-se, satisfatoriamente, aos dados observados do índice de saturação croma, descrevendo, numericamente, a alteração na saturação da cor da casca em função do tempo de armazenamento, para cada temperatura e estágio de desenvolvimento.

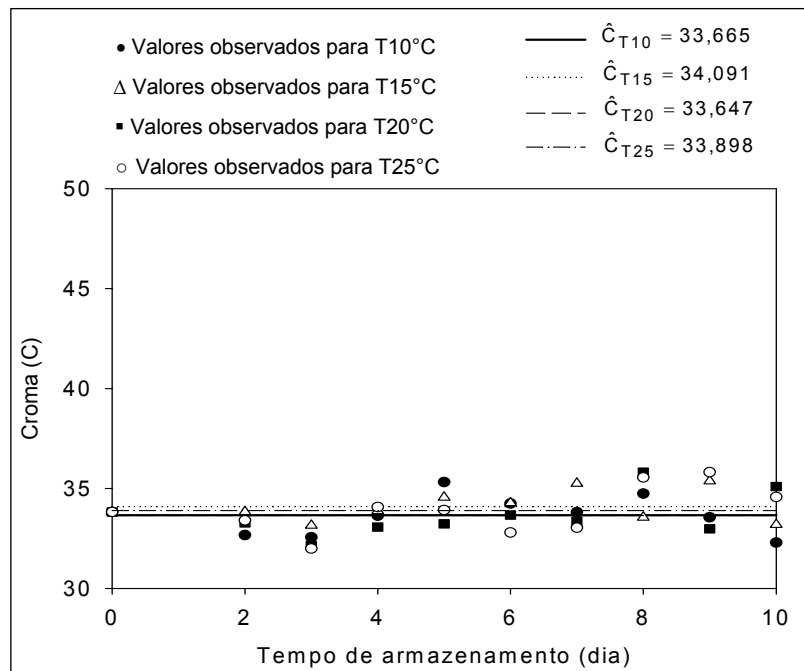


Figura 18. Valores observados e estimados de cromagem para a casca dos frutos de banana 'Prata-Anã' com 18 semanas de desenvolvimento, para cada temperatura, durante o armazenamento.

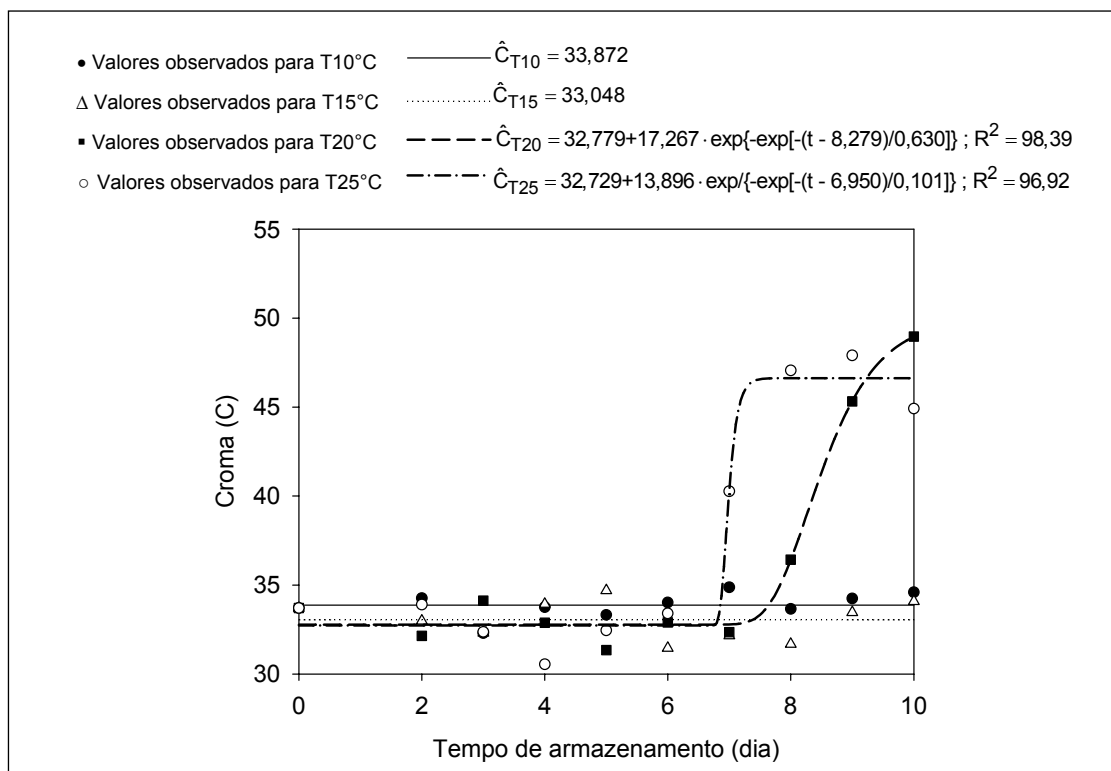


Figura 19. Valores observados e estimados de cromagem para a casca dos frutos de banana 'Prata-Anã' com 19 semanas de desenvolvimento, para cada temperatura, durante o armazenamento.

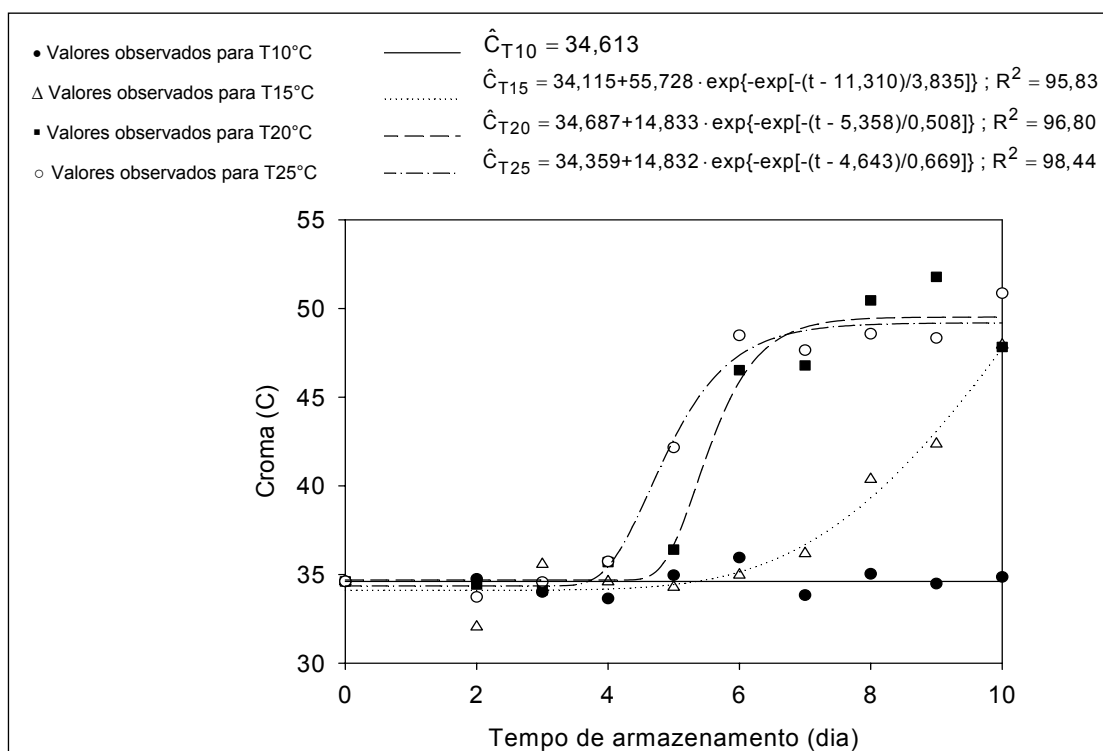


Figura 20. Valores observados e estimados de croma para a casca dos frutos de banana 'Prata-Anã' com 20 semanas de desenvolvimento, para cada temperatura, durante o armazenamento.

Na tentativa de utilizar um único índice para representar a evolução da cor da casca da banana, calculou-se o índice CCI, utilizado por Jiménes et al. (1981), durante o armazenamento para cada estágio de desenvolvimento e temperatura de armazenamento.

Na Figura 21, verifica-se que, para os frutos com 18 semanas de desenvolvimento, o índice CCI não variou significativamente durante o armazenamento, independentemente da temperatura de armazenamento, apresentando valores médios de -4,603; -4,635; -4,514 e -4,462 para as temperaturas de 10, 15, 20 e 25°C, respectivamente. Nota-se que estes valores correspondem aos frutos no estágio 1 de coloração, ou seja, totalmente verde (Quadros 3 a 6).

No entanto, para 19 e 20 semanas, nota-se uma evolução significativa deste índice para os frutos armazenados às temperaturas de 20 e 25°C; e à de 15°C para os frutos com 20 semanas de desenvolvimento (Figuras 22 e 23).

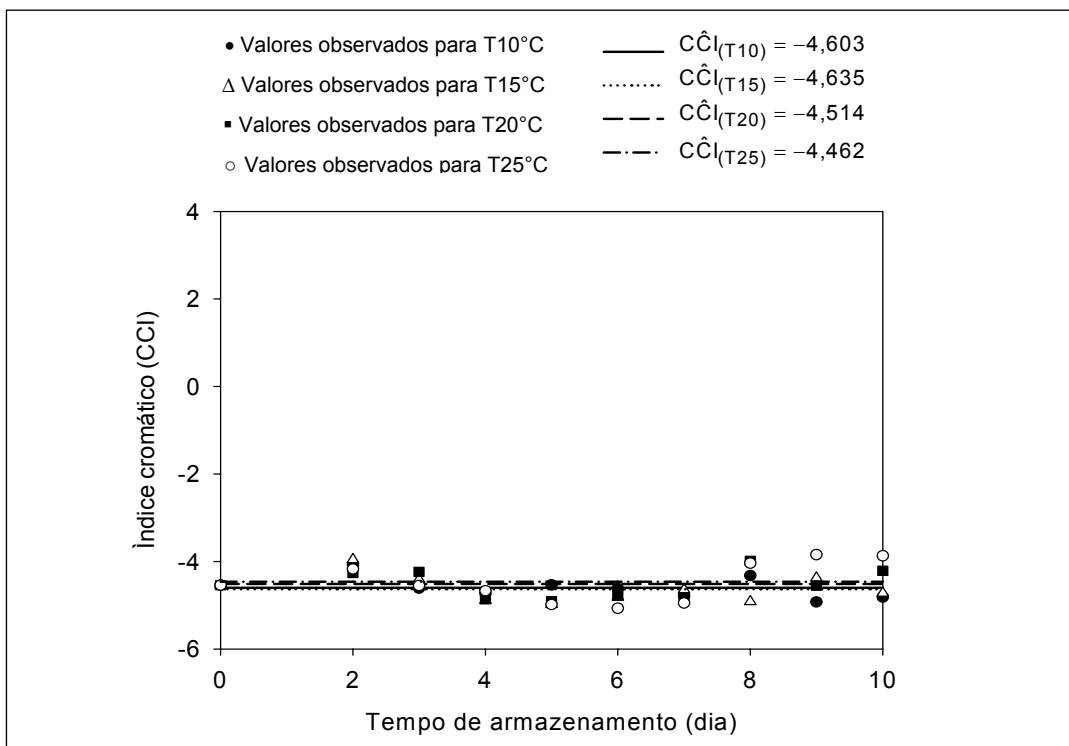


Figura 21. Valores calculados e estimados do índice arbitrário da casca dos frutos de banana 'Prata-Anã' com 18 semanas de desenvolvimento, para cada temperatura durante o armazenamento.

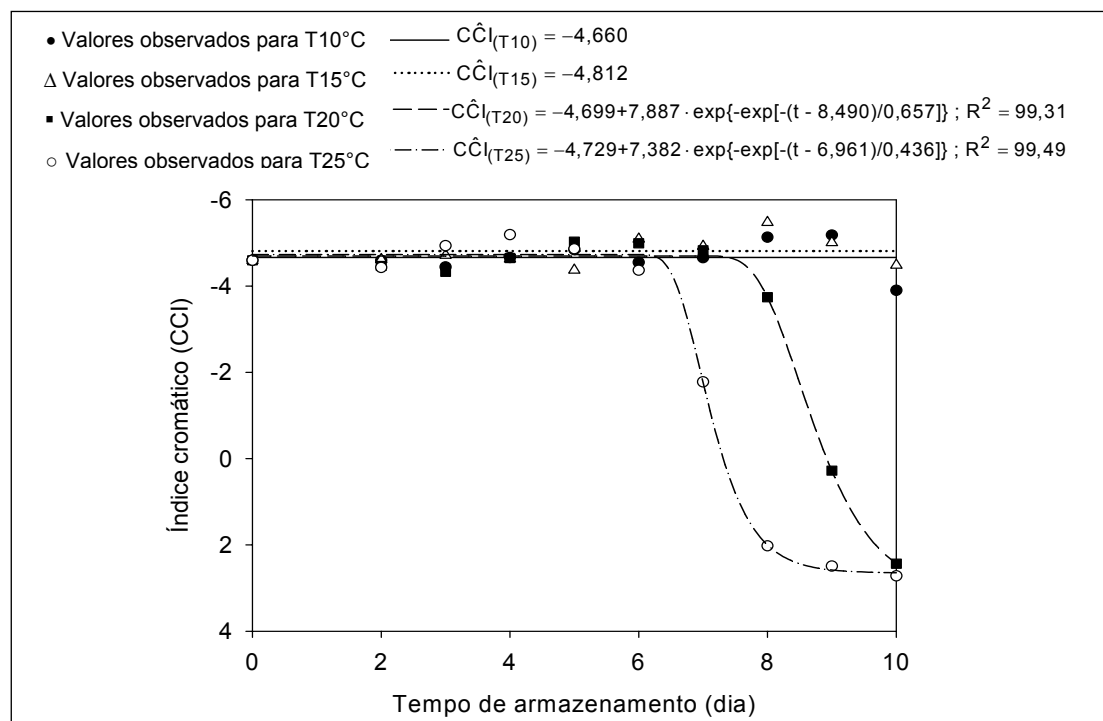


Figura 22. Valores calculados e estimados do índice arbitrário da casca dos frutos de banana 'Prata-Anã' com 19 semanas de desenvolvimento, para cada temperatura durante o armazenamento.

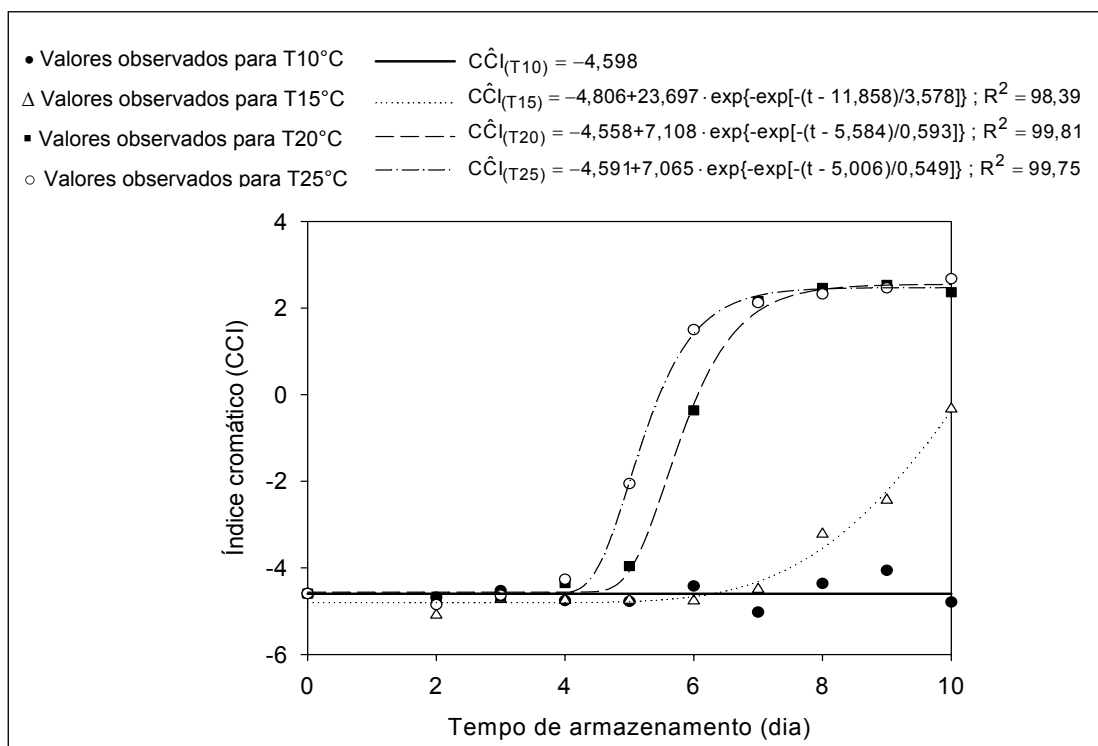


Figura 23. Valores calculados e estimados do índice arbitrário CCI para a casca dos frutos de bananeira ‘Prata-Anã’ com 20 semanas de desenvolvimento, para cada temperatura durante o armazenamento.

4.2. Perda de matéria fresca

Na Figura 24, para cada temperatura de armazenamento, são apresentados os valores observados e estimados da perda de matéria fresca dos frutos com 18, 19 e 20 semanas, em função do tempo de armazenamento. Verifica-se um aumento da perda da matéria fresca ao longo do armazenamento, para todas as temperaturas e estádios de desenvolvimento. No entanto, para os frutos de cachos com 18 semanas, não foi verificado o efeito significativo entre as temperaturas, apresentando, ao final dos 10 dias de armazenamento, uma perda média em sua massa final de 4,10%; 4,00%; 4,07% e 4,39%, respectivamente.

Os frutos provenientes de cachos com 19 semanas de desenvolvimento e armazenados a 25°C apresentaram um claro aumento em seu metabolismo (respiração e transpiração), percebido em razão do comportamento quadrático dos dados observados (Figura 24b). Verifica-se, também, que os valores da perda de matéria fresca dos frutos armazenados às temperaturas de 10 e 15°C foram semelhantes, indicando um

metabolismo menos intenso nessas condições, com uma perda média de 3,99 e 4,03% do seu peso inicial, ao final dos 10 dias de armazenamento, respectivamente.

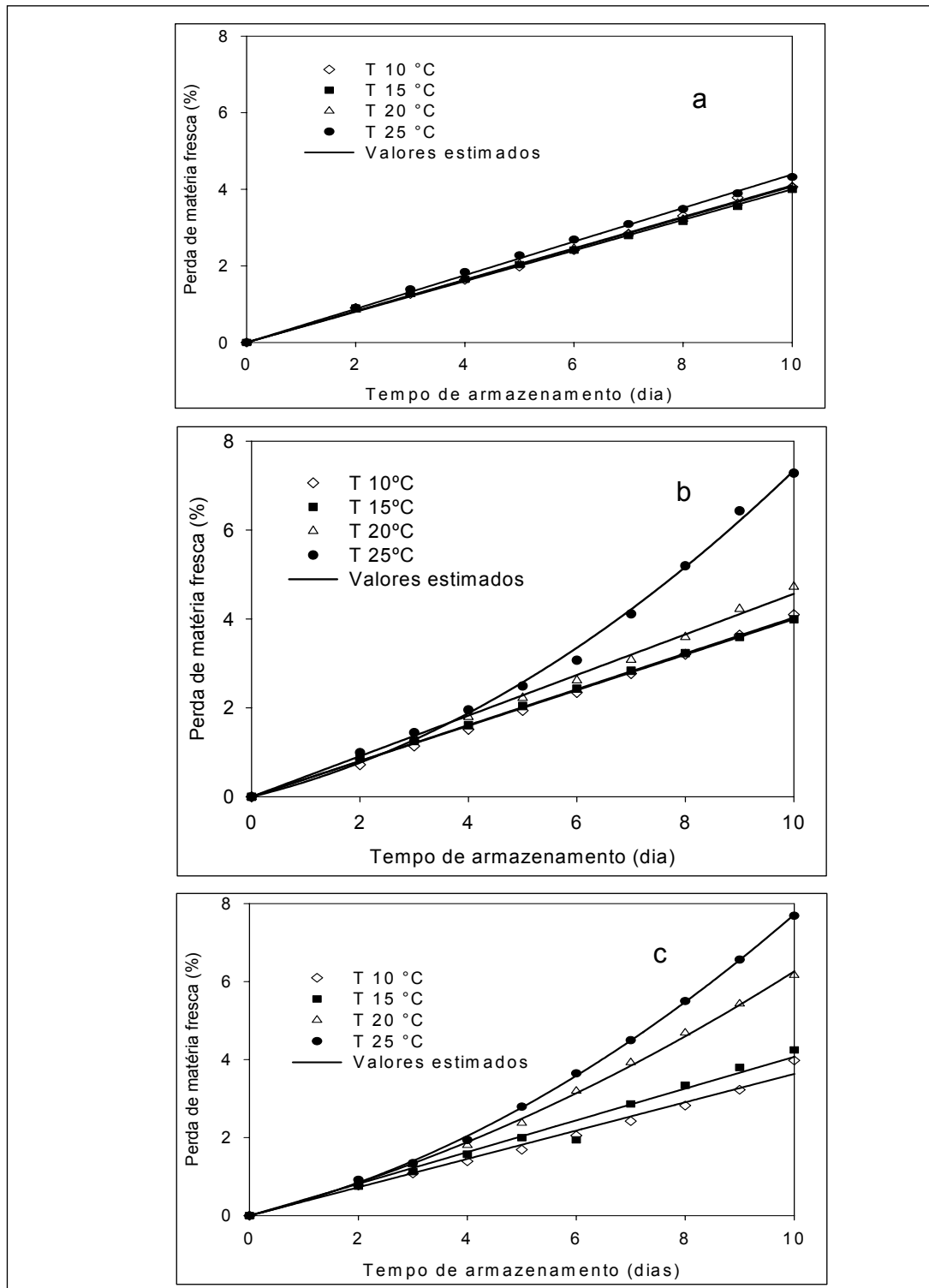


Figura 24. Valores observados e estimados da perda de matéria fresca dos frutos com 18 (a), 19 (b) e 20 (c) semanas de desenvolvimento, para cada temperatura, em função do tempo de armazenamento.

Analisando a perda de matéria fresca dos frutos com 20 semanas de desenvolvimento (Figura 24c), observa-se um efeito maior das temperaturas, sendo que, para 20 e 25°C, o metabolismo dos frutos foi afetado mais intensamente (maiores taxas), apresentando, ao final de 10 dias, uma perda média de 6,27 e 7,72%, respectivamente. Entretanto, percebe-se que os frutos armazenados a 10 e 15°C apresentaram, ao final dos 10 dias, uma perda média de 3,43% e 4,07% da sua massa inicial, respectivamente, semelhante àqueles provenientes de cachos com 18 e 19 semanas de desenvolvimento.

A perda de matéria fresca dos frutos é associada, principalmente, à perda de água, ocasionada tanto pela transpiração como pela respiração dos frutos (Sigrist, 1992; Chitarra & Chitarra, 2005). Uma vez que os frutos estavam mantidos em umidade relativa entre 90 e 95%, acredita-se que as maiores perdas de massa ocorreram, principalmente, devido ao aumento da transpiração, quando armazenados em maiores temperaturas. No entanto, esta perda não foi suficiente para afetar a aparência dos frutos, uma vez que não foram observados sinais de murchamento.

Além disso, o início do comportamento quadrático da perda de matéria fresca coincidiu com o início do amadurecimento dos frutos com 19 e 20 semanas, armazenados a 20 e 25°C. Com o amadurecimento dos frutos, as membranas celulares vão perdendo sua permeabilidade seletiva, o que resulta em vazamento de solutos (Palmer, 1971, citado por ROCHA, 2005). Os tecidos de banana no pico climatérico encontram-se permeáveis a moléculas de baixo peso molecular (BRADY et al., 1970), portanto, perdendo mais água.

Na Tabela 1, são apresentados os modelos, ajustados aos dados observados, que melhor explicaram o comportamento da perda de matéria fresca durante o armazenamento, para cada temperatura e estágio de desenvolvimento do cacho.

Tabela 1. Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado aos dados observados da perda de matéria fresca (PM, %), em função do tempo de armazenamento (θ , dias), para cada temperatura e estágio de desenvolvimento do cacho

Temperatura (°C)	Modelos ajustados	R ² (%)
----- 18 Semanas -----		
10	$\hat{PM} = 0,4103^{**}\theta$	99,82
15	$\hat{PM} = 0,4002^{**}\theta$	99,84
20	$\hat{PM} = 0,4073^{**}\theta$	99,96
25	$\hat{PM} = 0,4390^{**}\theta$	99,82
----- 19 Semanas -----		
10	$\hat{PM} = 0,3996^{**}\theta$	99,78
15	$\hat{PM} = 0,4030^{**}\theta$	99,93
20	$\hat{PM} = 0,4565^{**}\theta$	99,62
25	$\hat{PM} = 0,0438^{**}\theta^2 + 0,2959^{**}\theta$	93,97
----- 20 Semanas -----		
10	$\hat{PM} = 0,3425^{**}\theta$	99,85
15	$\hat{PM} = 0,4071^{**}\theta$	98,11
20	$\hat{PM} = 0,0258^{**}\theta^2 + 0,3685^{**}\theta$	99,87
25	$\hat{PM} = 0,0435^{**}\theta^2 + 0,3366^{**}\theta$	99,96

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

4.3. Coeficiente de transpiração

Na Tabela 2, são apresentadas as diferenças de pressão de vapor, obtidas a partir das temperaturas de armazenamento e os valores médios calculados dos coeficientes de transpiração, para cada estágio de desenvolvimento e temperatura de armazenamento, considerando a perda total de água no 10º dia de armazenamento.

Tabela 2. Valores da diferença de pressão (DPV) e das médias do coeficiente de transpiração ($10^{-12} \cdot \text{kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$), para cada estágio de desenvolvimento do cacho e temperatura de armazenamento

Temp. de armazenamento (°C)	DPV (Pa)	Coeficiente de transpiração ($10^{-12} \cdot \text{kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$)		
		18 semanas	19 semanas	20 semanas
10	92,092	511,057 a A	515,019 a A	500,222 a A
15	127,892	361,861 a B	361,409 a B	384,392 a B
20	175,357	269,296 a C	311,909 a B	406,920 b B
25	237,562	210,531 a C	354,596 b B	374,485 b B

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem entre si, a 1% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Nota-se que o estágio de desenvolvimento dos frutos não apresentou efeito significativo nos valores calculados do coeficiente de transpiração, quando armazenados às temperaturas de 10 e 15°C. No entanto, sob maiores condições de diferença de pressão (temperaturas de 20 e 25°C), o coeficiente de transpiração aumentou, significativamente, com o estágio de desenvolvimento.

Acredita-se que esse comportamento foi determinado, principalmente, pelo estágio de amadurecimento dos frutos. As bananas com 19 e 20 semanas de desenvolvimento, ao final do 10º dia de armazenamento, apresentavam-se mais maduras (estádio 7) após o armazenamento a 20 e 25°C. Por outro lado, os frutos armazenados às temperaturas de 10 e 15°C, apresentavam-se, ao final do 10º dia, com coloração totalmente verde (estádio 1) e verde com traços amarelos (estádio 2), exceto os frutos com 20 semanas e armazenados a 15°C, que apresentavam-se no estágio 3. No entanto, parece que esta diferença na maturação não foi suficiente para alterar, significativamente, o coeficiente de transpiração dos frutos (Quadros 7 a 13).

De acordo com Almeida (2005), o estado fisiológico do produto, principalmente seu estado de maturação, influencia a permeabilidade da superfície dos frutos devido às mudanças na estrutura da casca, como a espessura da cutícula e abertura dos estômatos (Kays, 1991).

Para o mesmo estágio de desenvolvimento, o coeficiente de transpiração calculado para os frutos, sob condição de menor diferença de pressão de vapor (10°C), foi significativamente maior que para os frutos armazenados em maiores temperaturas.

Para os frutos com 19 e 20 semanas de desenvolvimento, não houve diferença significativa entre o coeficiente de transpiração calculado para as temperaturas de 15, 20 e 25°C.

Contudo, percebe-se que o efeito da diferença de pressão de vapor foi maior para os frutos com 18 semanas de desenvolvimento.

Os valores, obtidos no presente trabalho, apresentam-se maiores que aqueles encontrados para batata, que possui periderme fortemente suberizada, bem como menores que os de cenoura, a qual apresenta periderme ligeiramente suberizada (Quadro 1).

Estas diferenças devem-se, sobretudo, às diferenças na natureza da superfície dos produtos, devido os diferentes graus de proteção natural contra a evapotranspiração. Nos órgãos que desenvolvem periderme, como a batata, a elevada quantidade de suberina deste tecido impede a perda de água, que se faz apenas através das lenticelas (Almeida, 2005). Por outro lado, a superfície dos frutos de bananeira é revestida por cutículas que, embora hidrofóbicas e representando importante barreira à perda de água, apresentam uma resistência menor que aquela apresentada pelas superfícies fortemente suberizadas, como a batata.

4.4. Avaliação da textura

4.4.1. Mudanças na firmeza da casca

Na Figura 25, observa-se que, para todas as temperaturas, a firmeza da casca dos frutos com 18 semanas de desenvolvimento não sofreu alteração significativa, sendo que os frutos apresentaram uma força máxima média de perfuração de 43,51; 43,09; 42,80 e 42,18 N, quando armazenados a 10, 15, 20 e 25°C, respectivamente.

As bananas com 19 semanas e mantidas às temperaturas de 10 e 15°C não apresentaram perda significativa na firmeza, durante os 10 dias de armazenamento. No entanto, os frutos mantidos a 20 e 25°C apresentaram perda da firmeza a partir do 7º e 5º dia de armazenamento, respectivamente (Figura 26).

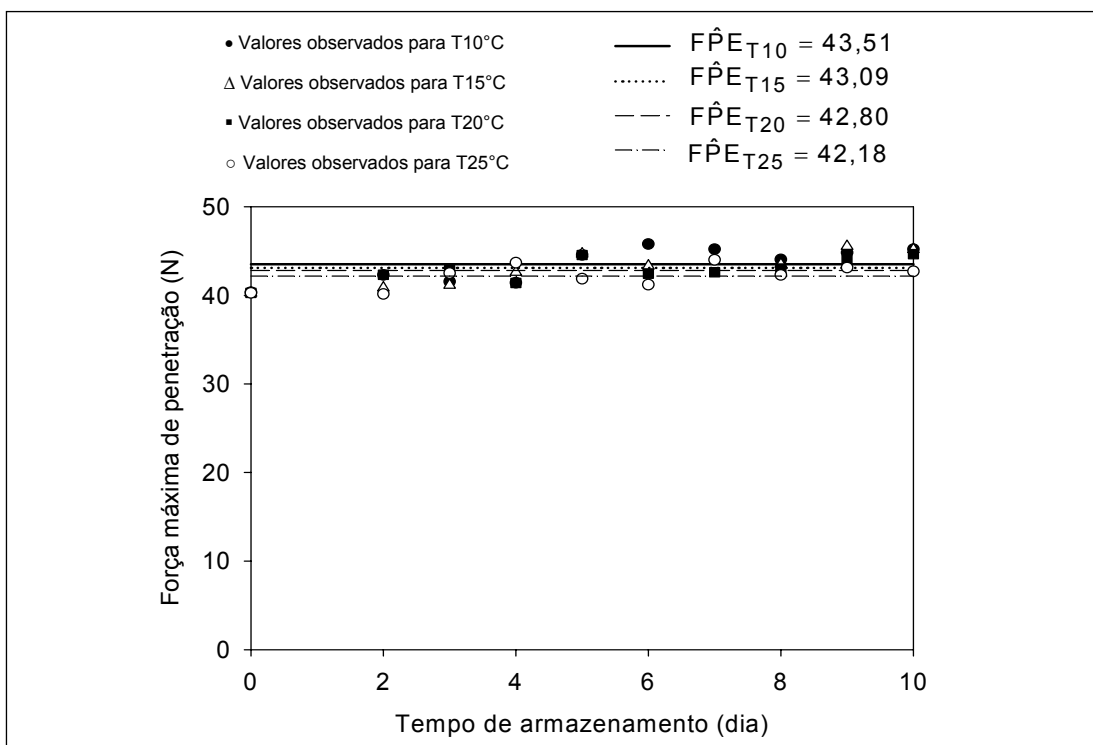


Figura 25. Valores observados e estimados da força máxima de penetração na casca dos frutos de bananeira 'Prata-Anã' com 18 semanas de desenvolvimento, para cada temperatura durante o armazenamento.

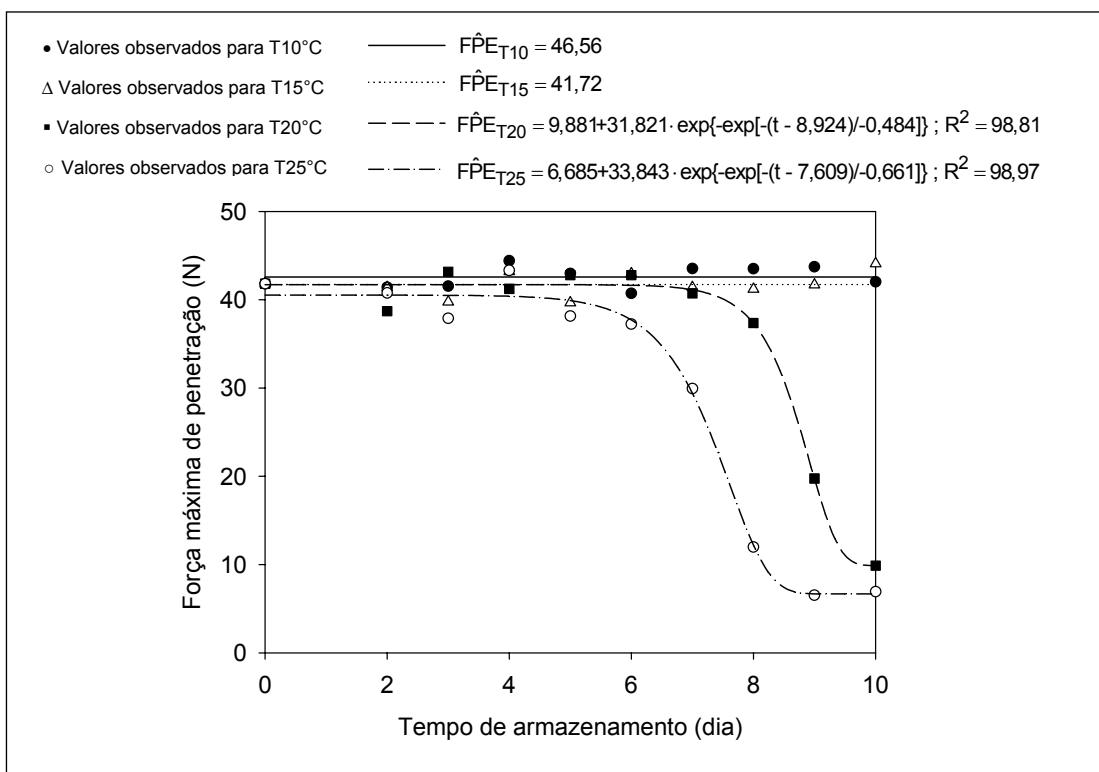


Figura 26. Valores observados e estimados da força máxima de penetração na casca dos frutos de bananeira 'Prata-Anã' com 19 semanas de desenvolvimento, para cada temperatura durante o armazenamento.

Na Figura 27, verifica-se que os frutos com 20 semanas de desenvolvimento e mantidos a 10 e 15°C não perderam a firmeza durante o armazenamento; entretanto, naqueles mantidos a 20 e 25°C, a perda de firmeza da casca teve início no 4º dia de armazenamento, com uma força média máxima de penetração de 7,19 N ao final dos 10 dias.

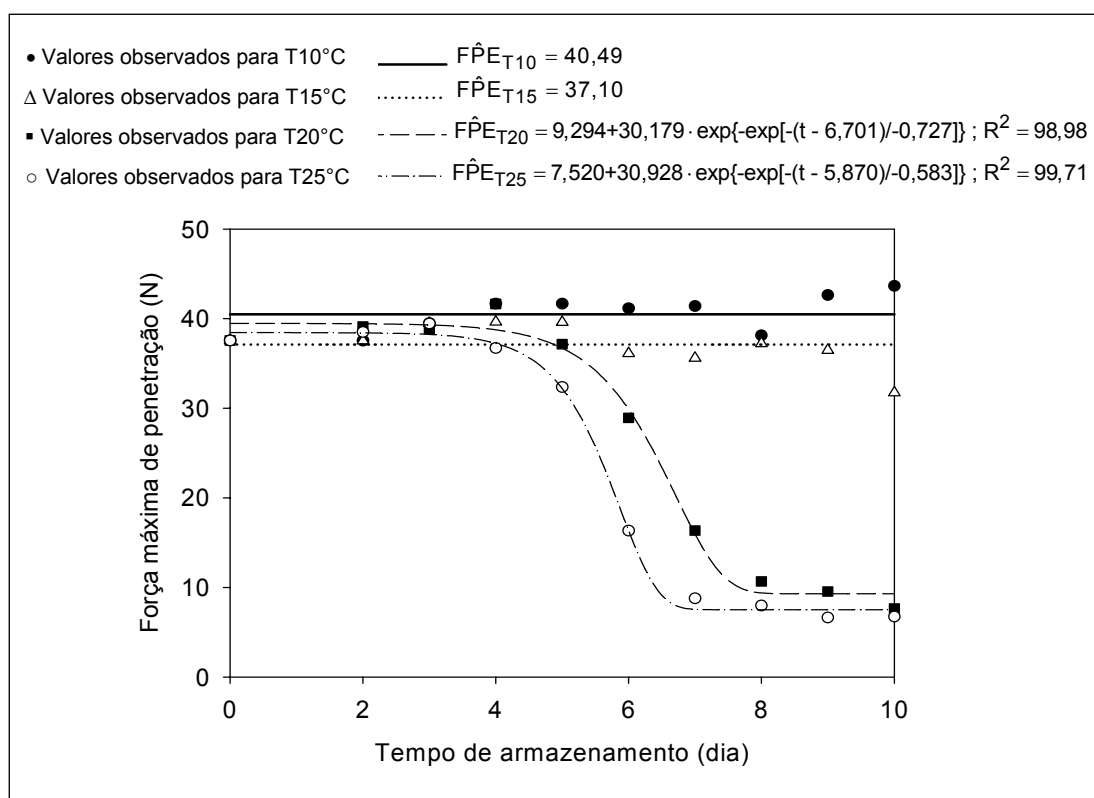


Figura 27. Valores observados e estimados da força máxima de penetração na casca dos frutos de bananeira 'Prata-Anã' com 20 semanas de desenvolvimento, para cada temperatura durante o armazenamento.

Kojima et al. (1994b) verificaram que os frutos do cultivar 'Prata', tratados com etileno e armazenados a 25°C com umidade relativa de 90% apresentaram aumento significativo na deformação (perda de firmeza), a partir do 1º dia de armazenamento. Observa-se, no entanto, que a banana 'Prata-Anã' mantida a 25°C e não tratada com etileno, para todos os estádios de desenvolvimento, apresentou-se mais resistente à perda de firmeza. A não utilização de etileno é desejável, quando o objetivo é aumentar a vida útil do fruto, uma vez que a aplicação de etileno na fase pré-

climatérica acelera a taxa respiratória da banana, causando sua rápida maturação (Botrel & Cenci, 2002). Desta forma, o retardo no amadurecimento dos frutos de bananeira 'Prata-Anã' pode ser conseguido, em função da idade de desenvolvimento, armazenando-os à temperatura de 25°C e umidade relativa entre 90 e 95%.

A perda de firmeza da banana está associada tanto à perda de água quanto à solubilização das protopectinas em pectinas (Silva et al., 2006) e à degradação do amido existente nos frutos (Kojima et al 1994a). Na casca, a perda de firmeza ocorre, provavelmente em grande parte, devido à perda de água pela transpiração e por osmose para a polpa durante o amadurecimento. Segundo Botrel et al. (2004), a perda por osmose é explicada pelo rápido aumento na concentração de açúcares na polpa, em comparação com a casca, que contribui para o aumento do diferencial da pressão osmótica (Dadzie, 1998, citado por BOTREL et al., 2004).

Nota-se que a perda de firmeza da casca da banana pode estar relacionada aos dados de perda de matéria fresca (Figura 6), uma vez que os frutos de cachos com 18 semanas de desenvolvimento e mantidos a 10 e 15°C, independentemente do estágio de desenvolvimento, apresentaram menores perdas de água, permanecendo com a casca firme.

Verifica-se, ainda, que o modelo de Gompertz com quatro parâmetros (Equação 29) explica, satisfatoriamente, a perda de firmeza da casca, com coeficiente de determinação (R^2) acima de 98%. Nota-se que $\hat{\theta}$ corresponde à estimativa do valor final da variável analisada e $t_{1/2}$ corresponde à estimativa do tempo de meia resposta. Assim, verifica-se que o tempo necessário para atingir a metade das forças máximas de penetração da casca é maior para a temperatura de 20°C em relação à de 25°C, e para desenvolvimento de 19 semanas em relação a 20 semanas, indicando uma menor taxa da perda de firmeza da casca para aquelas condições.

4.4.2. Mudanças na firmeza da polpa

As mudanças na textura da polpa da banana, nas diferentes condições de armazenamento, podem ser observadas nas Figuras 28, 29 e 30 por meio dos valores da força máxima de penetração na polpa.

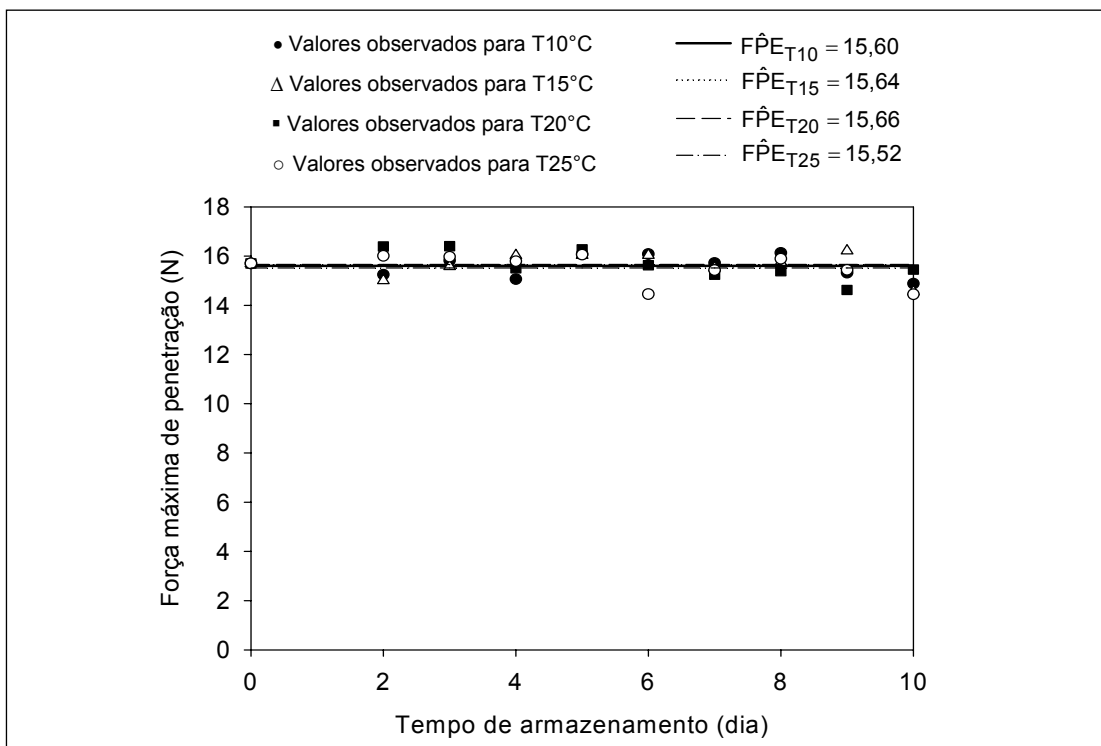


Figura 28. Valores observados e estimados da força máxima de penetração na polpa dos frutos de bananeira 'Prata-Anã' com 18 semanas de desenvolvimento, para cada temperatura, durante o armazenamento.

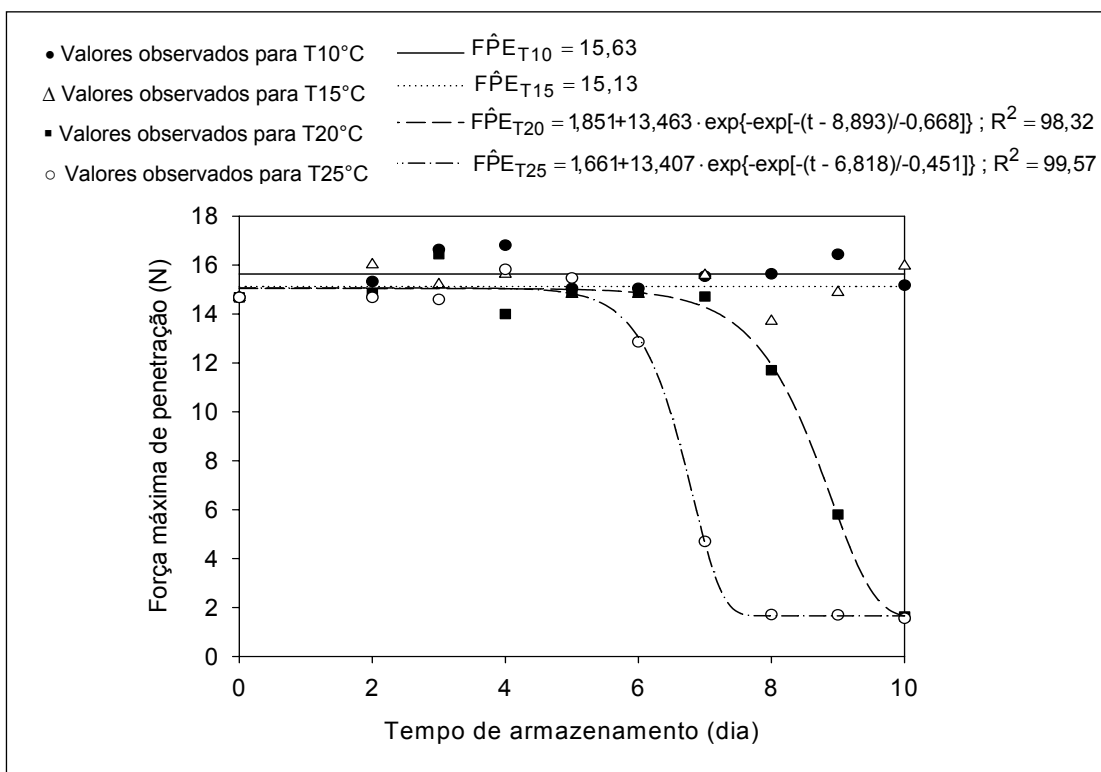


Figura 29. Valores observados e estimados da força máxima de penetração na polpa dos frutos de bananeira 'Prata-Anã' com 19 semanas de desenvolvimento, para cada temperatura, durante o armazenamento.

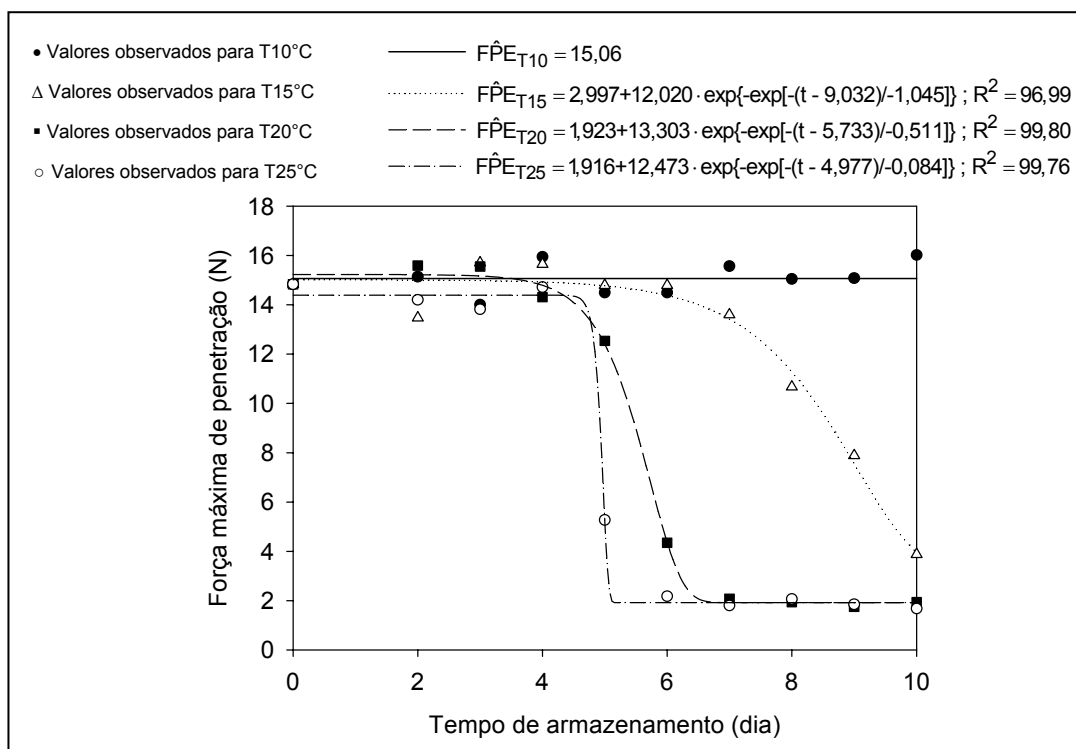


Figura 30. Valores observados e estimados da força máxima de penetração na polpa dos frutos de bananeira 'Prata-Anã' com 20 semanas de desenvolvimento, para cada temperatura, durante o armazenamento.

Nota-se que, semelhante à casca dos frutos de cachos com 18 semanas de desenvolvimento, a polpa apresentou-se firme durante os 10 dias de armazenamento, com uma força média máxima de penetração de 15,60; 15,64; 15,66; 15,52 quando os frutos foram armazenados a 10, 15, 20 e 25 °C, respectivamente.

Para os frutos com 19 semanas (Figura 29), somente aqueles armazenados a 20 e 2°C apresentaram perda de firmeza da polpa, tendo início no 7º e 5º dias, respectivamente, coincidindo com o início da perda de firmeza da casca. Ao final dos 10 dias, a força média máxima de penetração da polpa foi de 1,64 N para 20°C e 1,56 N para 25°C.

Observa-se que, para os frutos provenientes de cachos com 20 semanas de desenvolvimento, somente aqueles mantidos a 10°C não apresentaram perda da firmeza (Figura 30). Verifica-se que, além dos frutos armazenados a 20 e 25°C, a polpa daqueles mantidos a 15°C apresentou significativa perda de firmeza, diferentemente do que ocorreu para a casca,

com uma força média máxima de penetração de 3,876 N ao final dos 10 dias de armazenamento.

Possivelmente, a diferença na evolução da firmeza entre a casca e a polpa dos frutos armazenados a 15°C é devida aos mecanismos, que governam o amaciamento de cada um. Para a casca, a perda de firmeza é devida, principalmente, à perda de água (Botrel et al., 2004) que, nessas condições, foi pequena. Para a polpa, a perda de firmeza envolve, principalmente, a ação de enzimas que, nessas condições, provavelmente, já começam a atuar sobre a estrutura da parede celular (Kojima et al., 1994a).

Os frutos provenientes de cachos mais novos são menos susceptíveis à perda de firmeza, quando armazenados em temperaturas acima de 15°C, em comparação com aqueles dos cachos mais velhos. O fato de os frutos apresentarem-se fisiologicamente desenvolvidos, conforme observado por Santos & Chitarra (1998), pode ser devido à maior integridade da parede celular (Prabha & Bhagyalakshmi, 1998), que contribui para o retardamento do efeito da temperatura sobre a ação de diversas enzimas responsáveis pelo amaciamento do fruto (Chitarra & Chitarra, 2005). Além disso, a capacidade de produção autocatalítica e a sensibilidade ao etileno, o qual controla o amadurecimento, coordenando a ativação de várias enzimas responsáveis pelas transformações nos tecidos, é menor nos frutos mais jovens (Chitarra & Chitarra, 2005).

Para os demais tratamentos, a perda de firmeza da polpa durante o amadurecimento é devida, provavelmente, à transformação enzimática da protopectina em pectina solúvel e do amido em açúcares solúveis (Bleinroth, 1984; Chitarra & Chitarra, 2005). Observa-se que estas transformações são mais acentuadas para os frutos de cachos com estágio de desenvolvimento mais avançado, mantidos em temperaturas mais elevadas, em que a produção e a sensibilidade ao etileno é maior.

O modelo de Gompertz com quatro parâmetros (Equação 29) explica, satisfatoriamente, a perda de firmeza da polpa, com coeficiente de determinação acima de 96%. Verifica-se que o tempo necessário para atingir a metade das forças máximas de penetração da polpa foi maior, para a temperatura de 20°C em relação à de 25°C, bem como para o estágio de

desenvolvimento de 19 semanas, em relação a 20 semanas, indicando uma menor taxa da perda de firmeza da polpa para essas condições.

4.4.3. Mudanças na firmeza do fruto avaliada pela relaxação

Nas Figuras 31 a 33, são apresentados os valores de 'A' e 'B' do modelo de relaxação de Peleg (1980), equação 5, para cada temperatura e estágio de desenvolvimento do cacho, durante o armazenamento.

Para os frutos de cachos com 18 semanas, nota-se que não houve mudança no comportamento de 'A' e 'B' com o tempo de armazenamento, para cada temperatura (Figura 31).

Os parâmetros 'A' e 'B' representam, respectivamente, a relaxação das tensões e a taxa à qual esta relaxação ocorre. Desta forma, pode-se afirmar que estes frutos não apresentaram modificações quanto a seu comportamento reológico, o que sugere uma estabilidade da estrutura interna dos frutos de cachos com 18 semanas (Peleg, 1980), quando armazenados às temperaturas de 10, 15, 20 e 25°C durante 10 dias.

Na Figura 32, observa-se que, para os frutos com 19 semanas de desenvolvimento, os valores de 'A' e 'B' apresentaram comportamento crescente sigmóide, a partir do 8º e 6º dias de armazenamento, para as temperaturas de 20 e 25°C, respectivamente, em função do tempo de armazenamento, sugerindo que, a partir destes pontos, os frutos sofreram modificações internas em sua estrutura. Este fato concorda com Kajuna et al. (1998), os quais verificaram uma relação entre estes parâmetros e o estágio de amadurecimento dos frutos, embora tenham utilizado amostras cilíndricas da parte central do fruto e não frutos inteiros, como no presente trabalho.

Ao contrário do que foi obtido por esses autores, verifica-se que, para frutos inteiros, o modelo foi eficiente em demonstrar o efeito da temperatura sobre os parâmetros, indicando que o aumento da temperatura provoca maior relaxação das tensões (maior A) com mais intensidade (maior B), sugerindo uma mudança na estabilidade da estrutura interna do fruto.

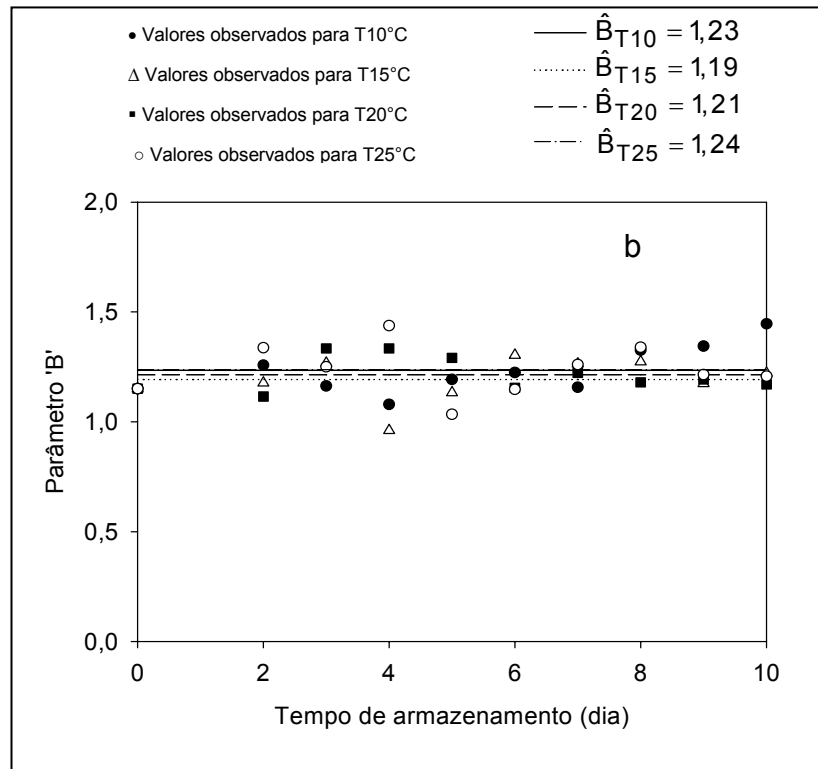
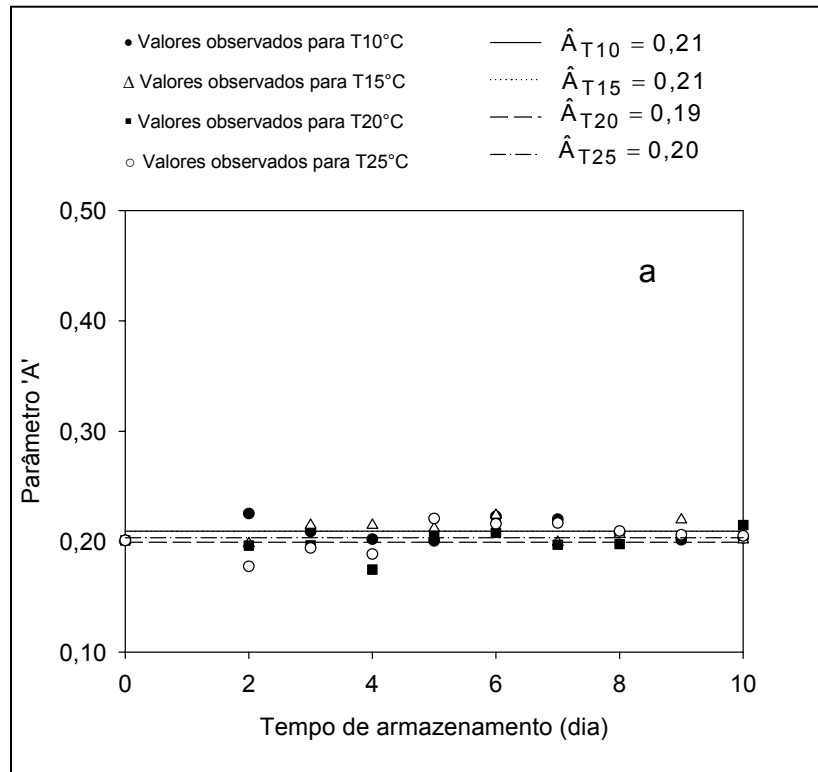


Figura 31. Valores dos parâmetros 'A' (a) e 'B' (b) do modelo de relaxação dos frutos de bananeira 'Prata-Anã' com 18 semanas de desenvolvimento, para cada temperatura, durante o armazenamento.

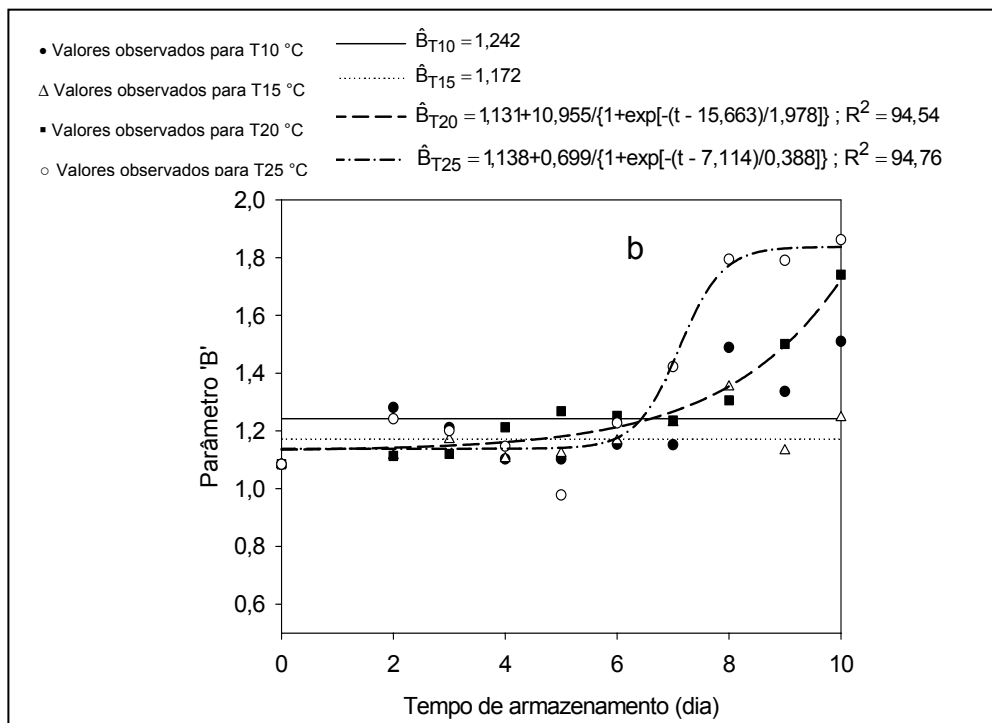
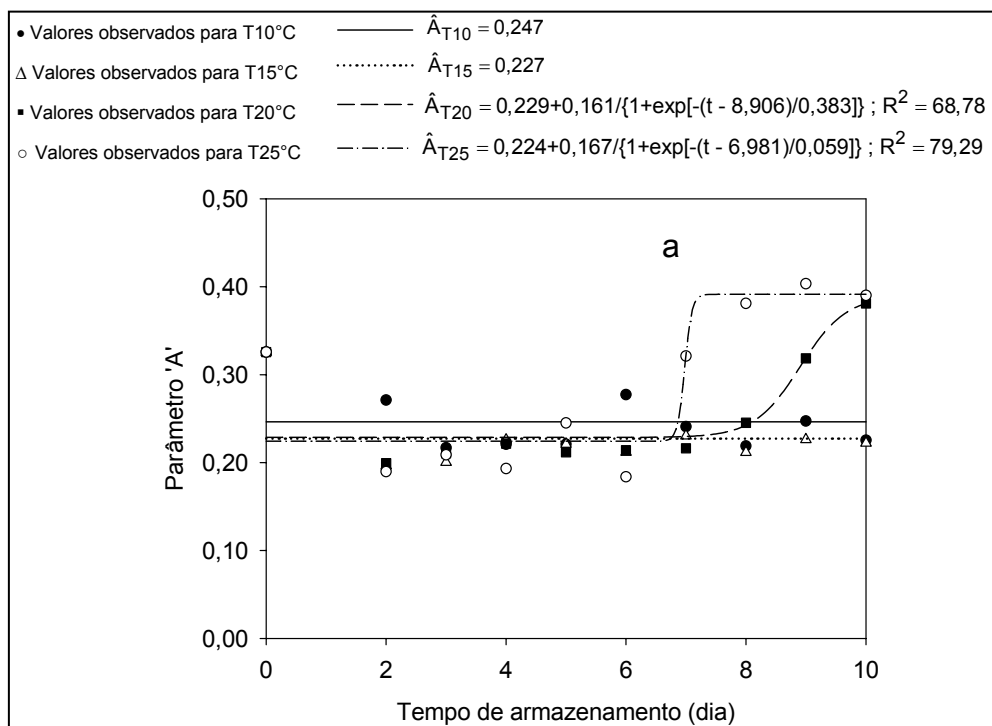


Figura 32. Valores dos parâmetros 'A' (a) e 'B' (b) do modelo de relaxação dos frutos de bananeira 'Prata-Anã' com 19 semanas de desenvolvimento, para cada temperatura, durante o armazenamento.

Na Figura 33, nota-se que, para os frutos com 20 semanas de desenvolvimento, os valores de 'A' e 'B' não apresentaram mudança de comportamento durante o armazenamento, apenas para a temperatura de 10°C, sugerindo que, nesta temperatura, os frutos mantiveram suas características reológicas, ou seja, permaneceram firmes. No entanto, para as demais temperaturas, esses valores aumentaram com o tempo de armazenamento, sendo que, para as temperaturas de 20 e 25°C, estes parâmetros atingiram um valor máximo invariável a partir do 7º e 6º dias, respectivamente.

O aumento no valor de 'A' com o tempo de armazenamento significa que a banana perde sua elasticidade, progressivamente, tornando-se mais macia (Kajuna et al., 1998). O aumento na taxa de relaxação, indicada pelos valores de 'B', também é indicativo do processo de amadurecimento. A maior taxa de relaxação é devido à redução na viscosidade aparente dos componentes da estrutura interna do fruto (Kajuna et al., 1998; Kojima et al., 1994a), que provoca um movimento livre das paredes celulares. Este fenômeno não é desejável em frutos, pois, se uma tensão inesperada é imposta em cada fruto, a deformação é tão rápida que induz a maiores danos nos tecidos.

A redução na viscosidade e elasticidade, detectada pelo teste de relaxação durante o amadurecimento resulta, provavelmente, da degradação coordenada de polissacarídeos pécnicos e hemicelulósicos da parede celular e da degradação de amido, responsáveis pela firmeza (Ali et al., 2004; Brummell & Harpster, 2001; Kojima et al., 1994a). Tais mudanças são resultantes, provavelmente, da ação de enzimas associadas à parede celular, tais como pectinametilesterase, poligalacturonase, α -galacturonase, celulase e outras, que atuam sobre as pectinas e outros carboidratos (Barret & Gonzales, 1994).

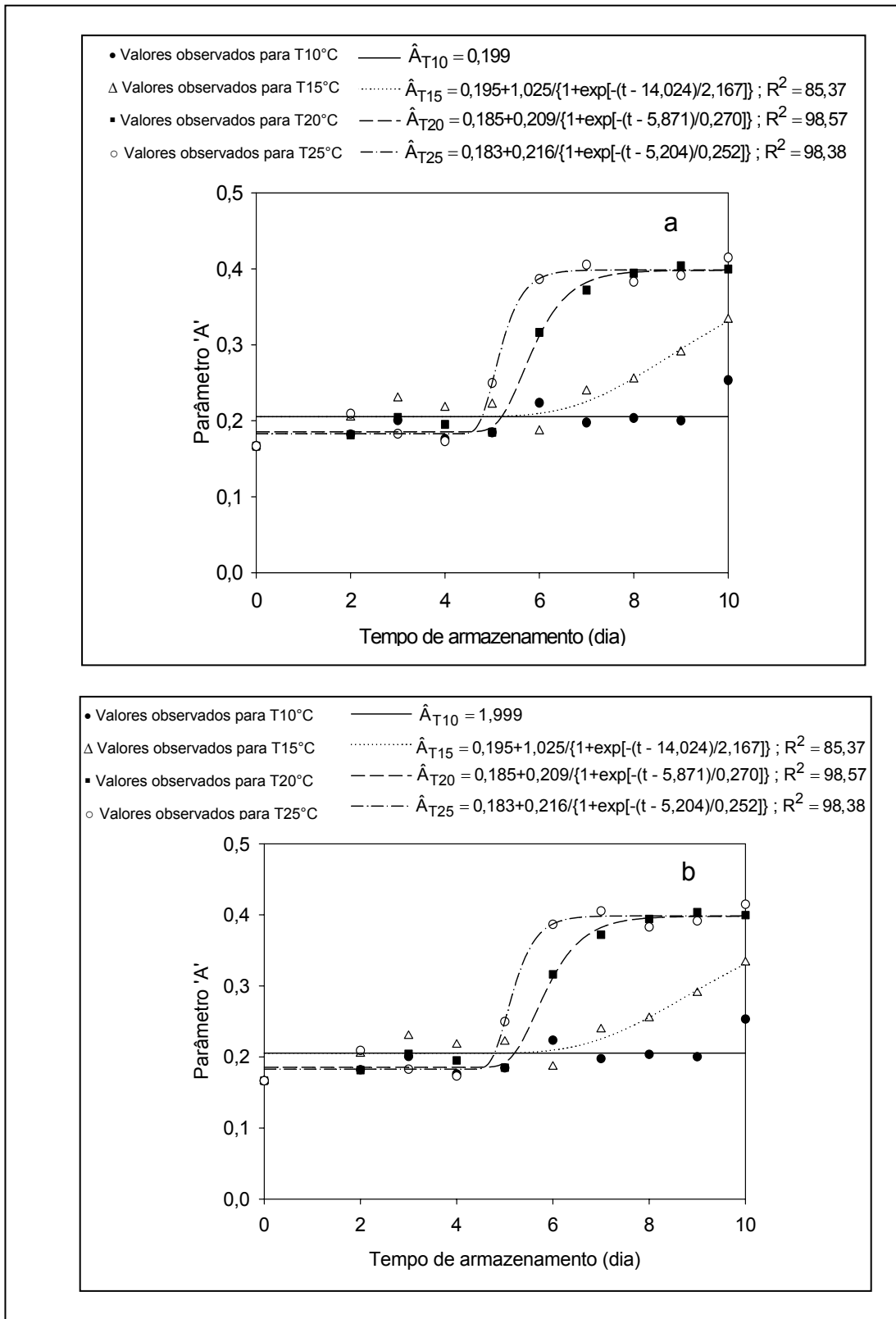


Figura 33. Valores dos parâmetros 'A' (a) e 'B' (b) do modelo de relaxação dos frutos de bananeira 'Prata-Anã' com 20 semanas de desenvolvimento, para cada temperatura, durante o armazenamento.

As poligalacturonases são conhecidas como enzimas pectolíticas, encontradas nos frutos (Kays, 1991). De acordo com Huber et al. (2001), o amaciamento paralelo à solubilização de pectina, durante o amadurecimento de frutos, é normalmente atribuído à hidrólise de ligações glicosídicas na protopectina por poligacturonase. O aumento da atividade desta enzima, no início do amadurecimento, é típico de frutos climatéricos, como a banana, causando redução na força do material cimentante da parede celular e, conseqüentemente, amaciamento do tecido (King & O'Donoghue, 1995, citados por CARVALHO et al., 2001).

Uma vez que não houve mudanças consideráveis na perda de matéria fresca (menor que 10%) durante o armazenamento, a perda da viscosidade e elasticidade dos frutos, predeterminadas pelo decréscimo de 'A' e 'B', pode ser atribuída às mudanças enzimáticas da estrutura e da composição da parede celular (Fischer & Bennett, 1991; Silva et al., 2006; Ali et al., 2004).

O comportamento de 'A' e 'B', durante o armazenamento, foi representado, satisfatoriamente, pelo modelo sigmóide com quatro parâmetros (Equação 28), ajustado aos dados observados para os frutos com 19 e 20 semanas de desenvolvimento.

4.5. Avaliação do teor de açúcares solúveis e de amido

Na Figura 34, são apresentados os teores de açúcar total e de amido, encontrados na polpa dos frutos de cachos com 18 semanas de desenvolvimento, durante o armazenamento às temperaturas de 10, 15, 20 e 25°C. Observa-se que não houve alteração desses teores ao longo do armazenamento, independentemente da temperatura utilizada. Os teores de amido detectados na banana 'Prata-Anã', nestas condições, são maiores que aqueles obtidos, 15,7%, por Adão & Glória (2005) e por Mota et al. (1997), 17,4-18,7%, na banana 'Prata' verde. No entanto, os teores médios de açúcares solúveis foram menores que aqueles obtidos por Adão & Glória (2005), 1,26%. Estas variações podem ocorrer devido às diferenças de variedade, condições de cultivo, armazenamento e amadurecimento,

conforme observado por Mota et al. (1997), Ferris et al. (1999), Adão & Glória (2005).

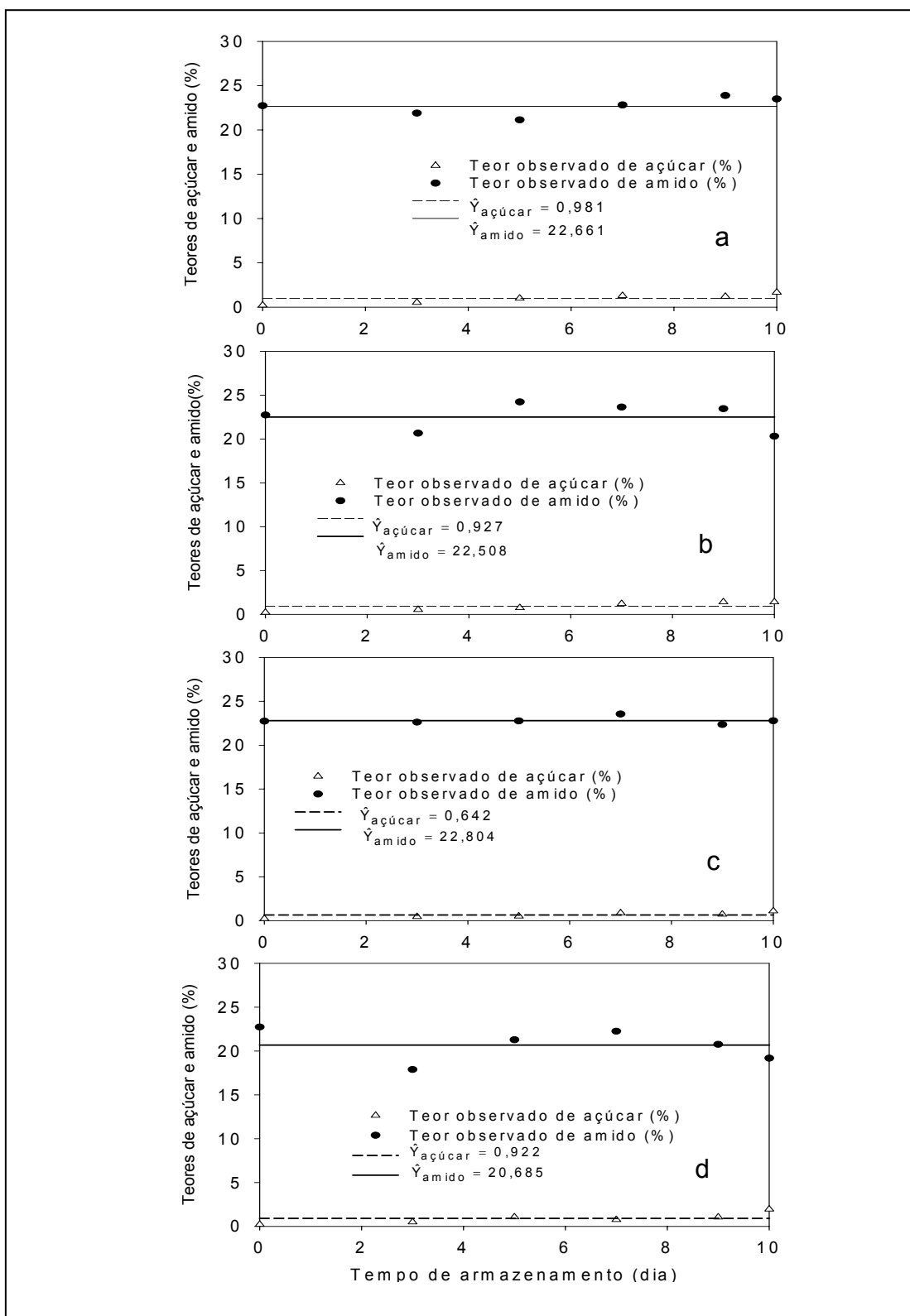


Figura 34. Teores de açúcar (%) e de amido (%) na polpa dos frutos de bananeira 'Prata-Anã', provenientes de cachos com 18 semanas de desenvolvimento, armazenados a 10°C (a), 15°C (b), 20°C (c) e 25°C (d).

Para os frutos com 19 e 20 semanas de desenvolvimento (Figuras 35 e 36), uma alteração significativa ocorreu nos teores de açúcar e de amido, quando armazenados a 20°C e 25°C.

Observa-se que, para 20 semanas, o teor inicial de amido foi menor que para os frutos de 19 semanas. Além disso, o amadurecimento dos frutos com 20 semanas iniciou-se primeiro do que aqueles com 19 semanas, os quais, quando armazenados a 20°C, apresentaram alteração nos teores de açúcar (traços-15,9%) e de amido (23,4 – 7,5%) a partir do 7º dia de armazenamento, enquanto os frutos a 25°C sofreram alteração de açúcar (traços – 20,2%) e amido (23,4 – 3,4%) a partir do 5º dia. Para os frutos com 20 semanas de desenvolvimento, o aumento desses teores iniciou-se a partir do 3º dia, sendo, no entanto, mais lento para a temperatura de 20°C em relação àquela de 25°C (Figuras 25c e 25d).

Verifica-se que, concomitantemente à degradação do amido, ocorreu um incremento na concentração de açúcares solúveis totais, o que corrobora a afirmação de que o amido é hidrolisado com o amadurecimento, resultando enriquecimento no teor de açúcares da polpa madura (Vilas Boas et al., 1996; Bassinello et al., 1999). Nota-se, ainda, que esta degradação é mais completa nos frutos provenientes de cachos com 20 semanas de desenvolvimento e armazenados a 20 e 25°C.

Segundo Chitarra & Chitarra (2005), os valores de amido na banana 'Prata' diminuem de 20% a 25% para 0,2% a 1,5% do fruto verde para o maduro, dados estes condizentes com os encontrados no presente trabalho, que são da ordem de 24,9 a 1,16%.

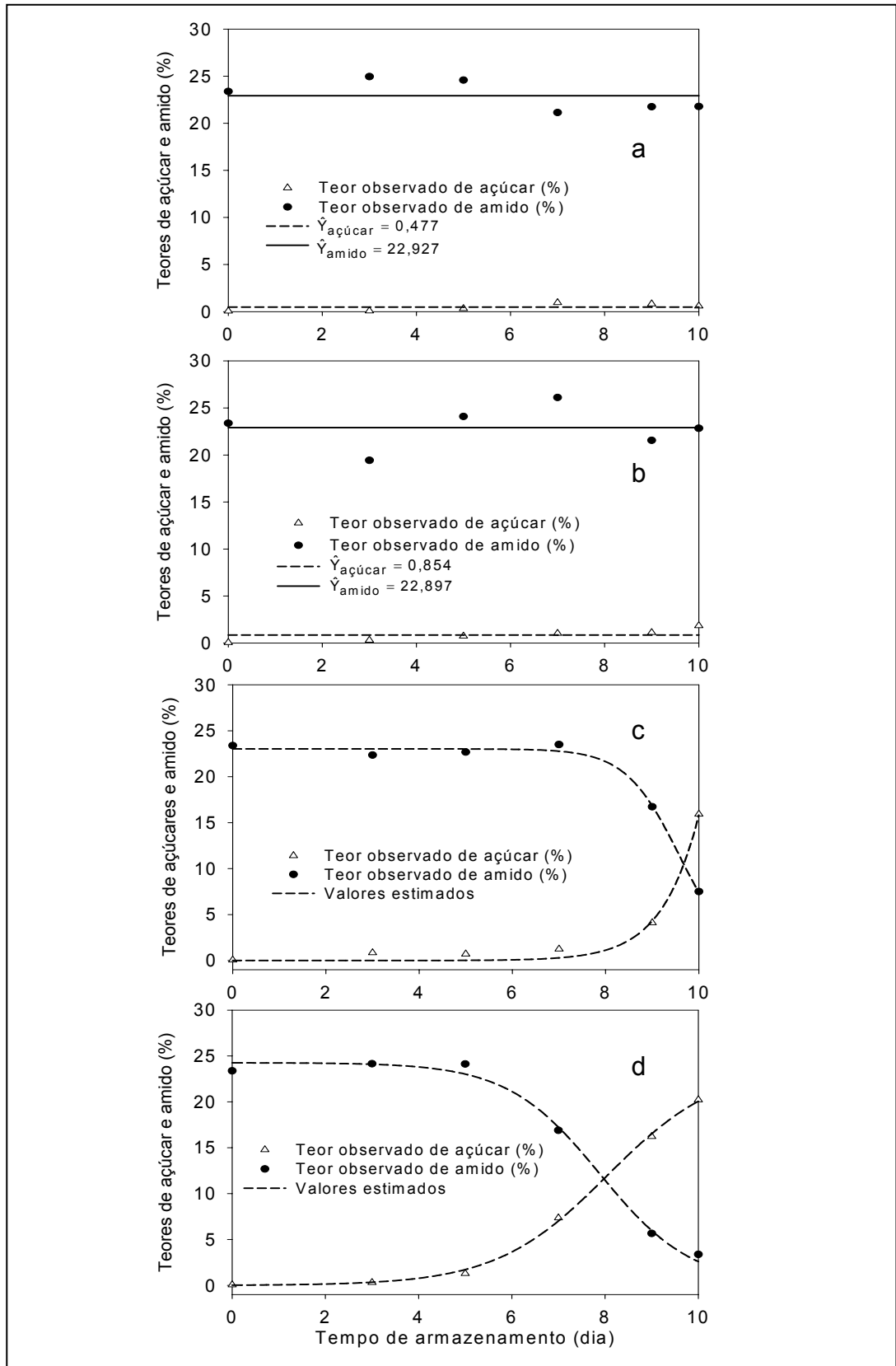


Figura 35. Teores de açúcar (%) e de amido (%) na polpa dos frutos de bananeira 'Prata-Anã', provenientes de cachos com 19 semanas de desenvolvimento e armazenados a 10°C (a), 15°C (b), 20°C (c) e 25°C

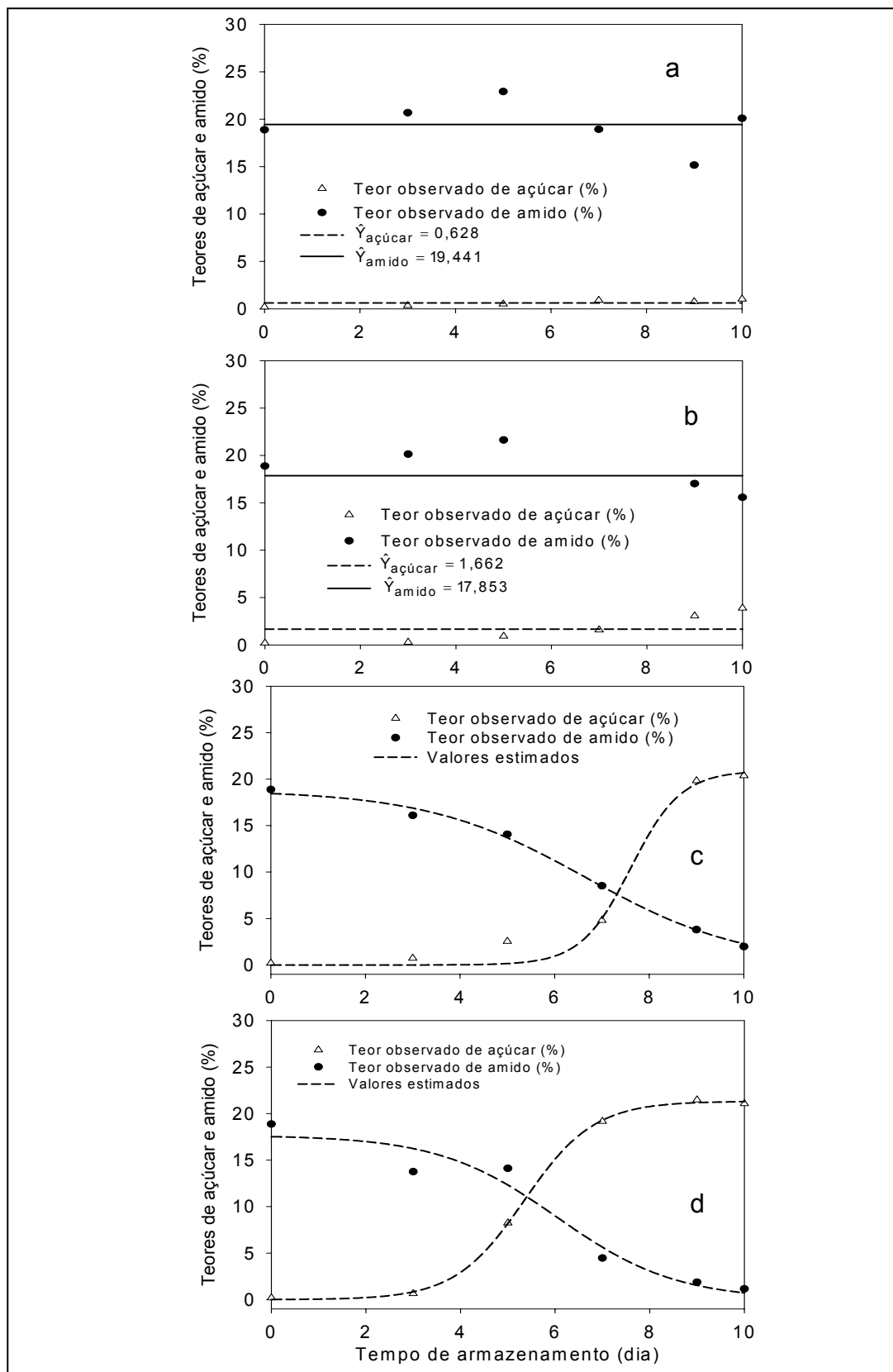


Figura 36. Teores de açúcar (%) e de amido (%) na polpa dos frutos de bananeira 'Prata-Anã', provenientes de cachos com 20 semanas de desenvolvimento e armazenados a 10°C (a), 15°C (b), 20°C (c) e 25°C (d).

As estimativas dos três parâmetros do modelo sigmóide (Equação 30), ajustado aos dados de teores de açúcar e de amido, para cada estágio de desenvolvimento e temperatura de armazenamento, são apresentadas na Tabela 3.

$$C = \frac{\alpha}{1 + \exp(-(t - t_{1/2})/\beta)} \quad (29)$$

Tabela 3. Estimativa dos parâmetros do modelo sigmóide ajustado aos teores de açúcar solúvel total (%) e amido (%) e coeficiente de determinação (R²)

Estádio de desenvolvimento	Temperatura	α	β	$t_{1/2}$	R ² (%)
----- Açúcar solúvel total -----					
19	20	240,3074	0,7396	11,9621	98,83
	25	23,9903	1,1939	8,0522	99,89
20	20	20,9030	0,5295	7,6123	98,53
	25	21,3214	0,7349	5,3483	99,96
----- Amido -----					
19	20	23,0243	-0,5737	9,5754	99,38
	25	24,2641	-0,9919	7,8915	99,37
20	20	18,7961	-1,6855	6,6622	99,56
	25	17,6620	-1,2542	6,0469	95,39

4.6. Correlação entre as variáveis

Na Tabela 4, são apresentadas as estimativas dos coeficientes de correlação entre as variáveis estudadas.

Verifica-se que o índice CCI apresentou correlação acima de 96% com as demais variáveis, referentes ao estudo da cor da casca dos frutos de banana. Este fato confirma a possibilidade de o CCI ser utilizado como um único índice, para representar a evolução da cor da casca da banana.

Tabela 4. Estimativa dos coeficientes de correlação entre as variáveis estudadas

	Açúcar	Amido	L*	a*	b*	Hue	Croma	CCI	FPE _{casca}	FPE _{polpa}	PM	'A'
Amido	-0,9020	1,0000										
L*	0,8860	-0,8693	1,0000									
a*	0,9316	-0,9020	0,9572	1,0000								
b*	0,8711	-0,8805	0,9634	0,9288	1,0000							
Hue	-0,9272	0,9091	-0,9738	-0,9958	-0,9527	1,0000						
Croma	0,8775	-0,8850	0,9630	0,9326	0,9996	-0,9549	1,0000					
CCI	0,9202	-0,9050	0,9847	0,9877	0,9640	-0,9973	0,9647	1,0000				
FPE* _{casca}	-0,9306	0,9217	-0,9318	-0,9740	-0,9190	0,9751	-0,9224	-0,9676	1,0000			
FPE* _{polpa}	-0,8890	0,8855	-0,9570	-0,9383	-0,9645	0,9594	-0,9623	-0,9678	0,9405	1,0000		
PM**	0,7493	-0,6483	0,7169	0,7033	0,6894	-0,7081	0,6927	0,7140	-0,6339	-0,6892	1,0000	
'A'	0,8238	-0,7389	0,8574	0,8728	0,8466	-0,8765	0,8487	0,8743	-0,8448	-0,8626	0,6141	1,0000
'B'	0,8057	-0,8156	0,8350	0,8710	0,8221	-0,8718	0,8246	0,8669	-0,8445	-0,8373	0,6670	0,6679

*FPE: força de penetração;

**PM: perda de matéria fresca;

'A' e 'B': parâmetros do modelo de relaxação de Peleg (1980).

Nota-se, ainda, que o índice CCI apresentou correlação negativa de 96,8% com as forças máximas de penetração da casca e da polpa, assim como correlação positiva de 92,02% com o teor de açúcar e correlação negativa de 90,50% com o teor de amido. Sugere-se, assim, que o índice CCI pode ser utilizado como índice não destrutivo na avaliação do estágio de amadurecimento e qualidade da banana 'Prata-Anã'.

Os teores de amido apresentaram correlação positiva com as forças máximas de penetração da casca (92,17%) e da polpa (88,55%), mas correlação negativa com os parâmetros de relaxação 'A' (-73,89%) e 'B' (-81,56%). Por outro lado, os teores de açúcares apresentaram correlação negativa com as forças máximas de penetração da casca (-93,06%) e da polpa (-88,90%) e correlação positiva com os parâmetros de relaxação 'A' (82,38%) e 'B' (80,57%). Portanto, confirma-se que a degradação de amido está relacionada à perda de firmeza do fruto, ocorrendo acúmulo de açúcares durante o amadurecimento.

ETAPA 2 – CARACTERÍSTICAS DOS FRUTOS MANTIDOS A 25°C APÓS REFRIGERAÇÃO A 10°C E 15°C DURANTE 10 DIAS

4.7. Mudanças na cor da casca

4.7.1. Evolução das coordenadas 'L*', 'a*' e 'b*'

Na Figura 37, apresenta-se a evolução das coordenadas L^* , a^* e b^* referentes à cor da casca dos frutos, com 18 semanas de desenvolvimento, após transferência para temperatura de 25°C. Nota-se uma mudança nos valores das coordenadas, a partir do 4º dia de armazenamento a 25°C. Esta mudança foi verificada tanto para as bananas, anteriormente, refrigeradas a 10°C como para aquelas mantidas a 15°C. Este fato sugere que, após serem armazenadas sob essas temperaturas durante 10 dias, as bananas ao serem transferidas para temperatura de 25°C permanecem durante quatro dias sem alteração significativa na cor da casca. Verifica-se ainda que, no 6º dia de armazenamento a 25°C, os frutos anteriormente refrigerados a 10°C não apresentaram completo amadurecimento (Quadro 14), sendo os valores de L^* , a^* e b^* iguais a 64,12; 2,22 e 43, 63, respectivamente.

Na Figura 38, observa-se que os frutos com 19 semanas de desenvolvimento apresentaram evolução das coordenadas ' L^* ', ' a^* ' e ' b^* ' logo após a transferência para 25°C. Nota-se que a coordenada ' a^* ', para as bananas anteriormente refrigeradas a 15°C, permaneceu praticamente constante a partir do 1º dia de armazenamento a 25°C, indicando perda máxima da tonalidade verde.

Por outro lado, as coordenadas referentes aos frutos anteriormente refrigerados a 10°C evoluíram até o 3º dia de armazenamento a 25°C, com valores de L^* , a^* e b^* iguais a 71,86; 7,03 e 54, 40, respectivamente. Neste ponto, os frutos apresentavam coloração completamente amarela.

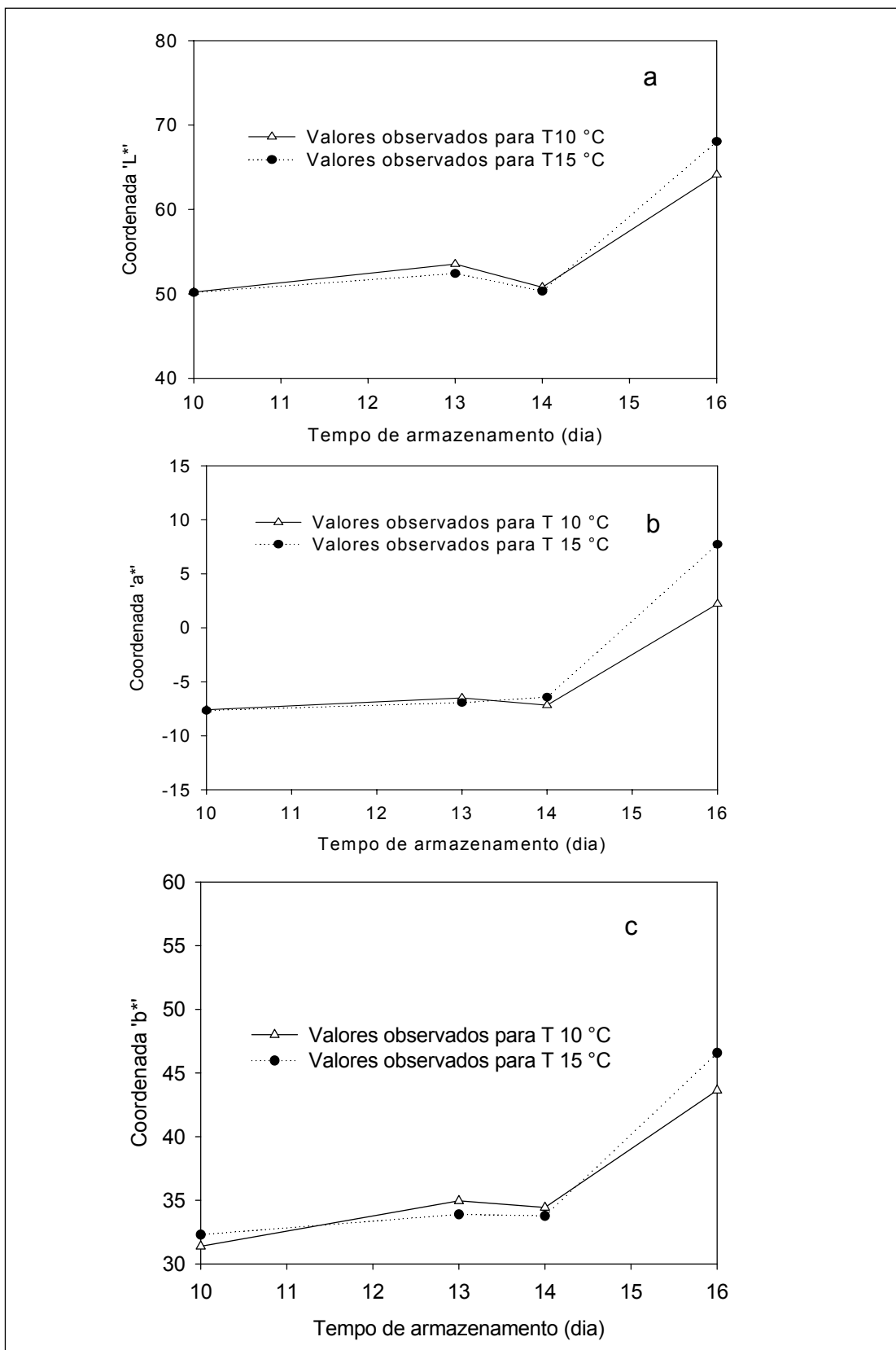






Figura 37. Evolução das coordenadas 'L*' (a), 'a*' (b) e 'b*' (c) referentes à cor da casca dos frutos de bananeira 'Prata-Anã' com 18 semanas de desenvolvimento, armazenados a 25°C após 10 dias de refrigeração a 10°C e 15°C.

Quadro 14. Evolução da coloração da casca dos frutos com 18 semanas de desenvolvimento, durante 6 dias de armazenamento a 25°C, após refrigeração a 10°C e respectivos valores observados médios de L*, a* e b*

Coloração da casca	L*	a*	b*
 <p>Dia 0</p>	50,21	-7,58	31,38
 <p>Dia 3</p>	53,63	-6,49	34,96
 <p>Dia 4</p>	50,78	-7,17	34,43
 <p>Dia 6</p>	64,12	2,22	43,63

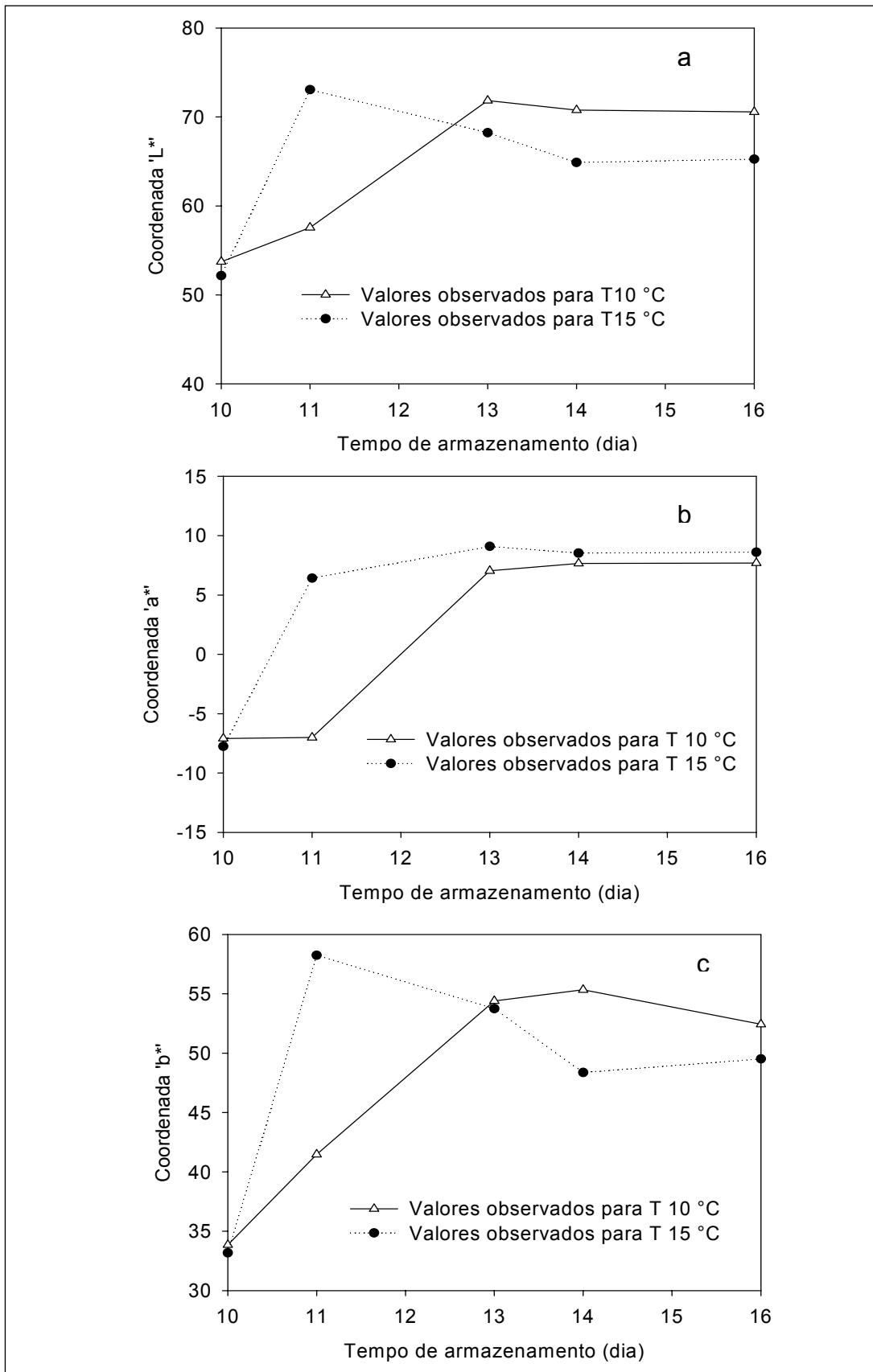


Figura 38. Evolução das coordenadas 'L*' (a), 'a*' (b) e 'b*' (c) referentes à cor da casca dos frutos de banana 'Prata-Anã' com 19 semanas, armazenados a 25°C após 10 dias sob refrigeração a 10°C e 15°C.

Na Figura 39, apresenta-se a evolução das coordenadas 'L*', 'a*' e 'b*' referentes à cor da casca dos frutos com 20 semanas de desenvolvimento, após transferência para 25°C. Observa-se que, após o 1º dia de armazenamento nestas condições, os valores das coordenadas dos frutos anteriormente refrigerados a 15°C permaneceram praticamente invariáveis, com valores médios de L*, a* e b* iguais a 70,71; 7,30 e 51,82, respectivamente. Entretanto, para as bananas anteriormente refrigeradas a 10°C, houve evolução das coordenadas até o 3º dia a 25°C, tornando-se praticamente constante a partir desse período, com valores médios de 'L*', 'a*' e 'b*' iguais a 72,88; 6,78 e 51,95, respectivamente.

Nota-se que o comportamento dos frutos com 19 e 20 semanas de desenvolvimento, em relação à evolução das coordenadas 'L*', 'a*' e 'b*', foi semelhante, com evolução da cor da casca até o 1º e 3º dias de armazenamento a 25°C para os frutos, anteriormente, refrigerados a 10 e 15°C, respectivamente.

4.7.2. Diferença total de cor

4.7.2.1. Influência da temperatura na cor da casca

Na Figura 40, são apresentadas as diferenças de cor da casca entre os frutos, anteriormente refrigerados a 10°C e 15°C, para cada estágio de desenvolvimento e tempo de armazenamento.

Observa-se que, para frutos com 18 semanas de desenvolvimento, até o 4º dia de armazenamento a 25°C não houve diferença na cor da casca entre os tratamentos. A partir desse período, esta diferença aumentou, uma vez que os frutos anteriormente refrigerados a 10°C apresentaram maior evolução da cor da casca de verde para amarela.

Para os frutos provenientes de cachos com 19 e 20 semanas, a maior diferença de cor entre os tratamentos foi verificada no 1º dia de armazenamento a 25°C, reduzindo a partir desse período. Esta maior diferença é devido à maior evolução da cor dos frutos, anteriormente refrigerados a 15°C, em relação aos refrigerados a 10°C, os quais foram

amadurecendo e apresentando cor da casca mais amarela, próxima à cor daqueles refrigerados a 15°C.

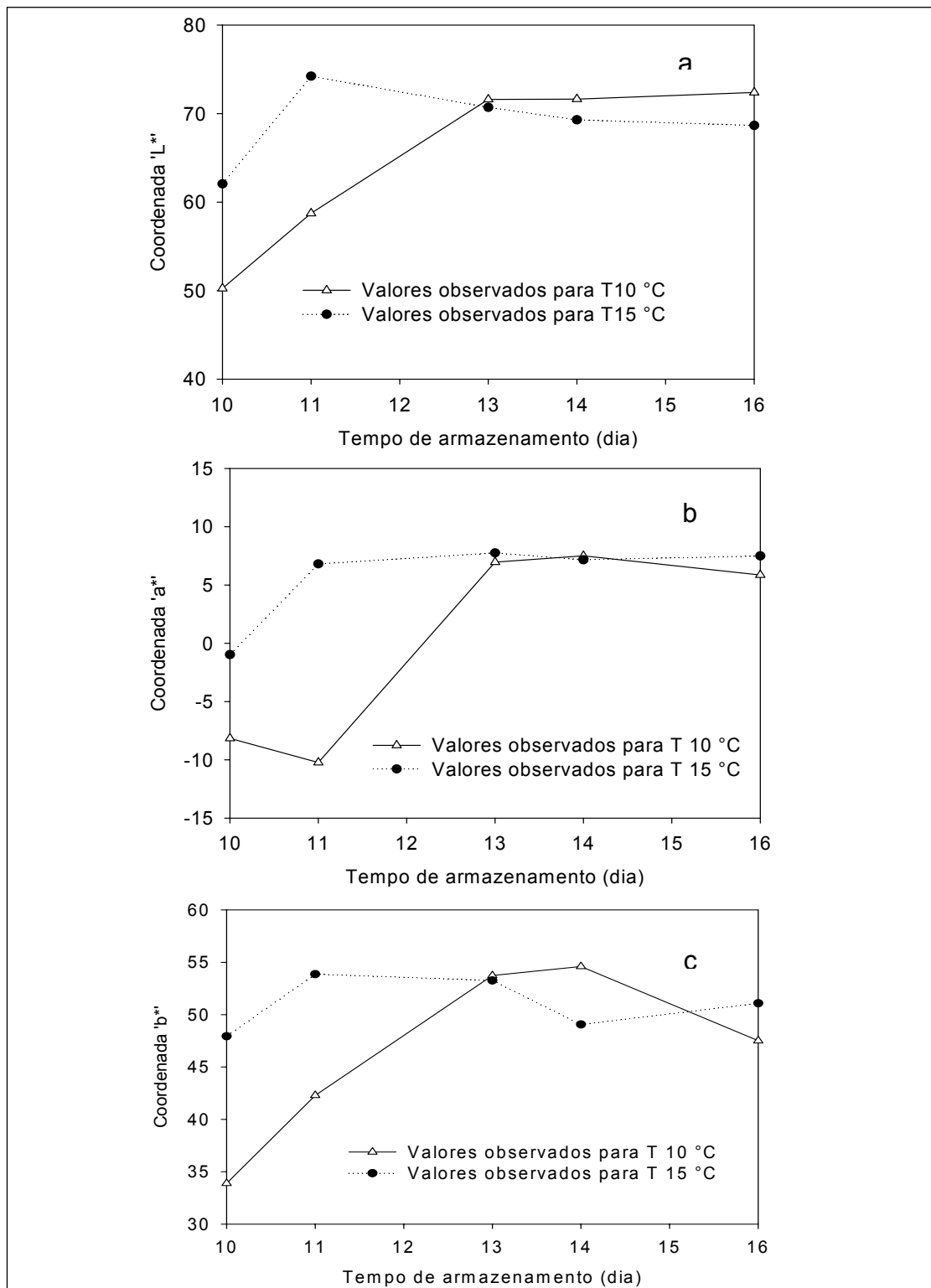


Figura 39. Evolução das coordenadas 'L*' (a), 'a*' (b) e 'b*' (c) referentes à cor da casca dos frutos de bananeira 'Prata-Anã' com 20 semanas, armazenados a 25°C após 10 dias sob refrigeração a 10°C e 15°C.

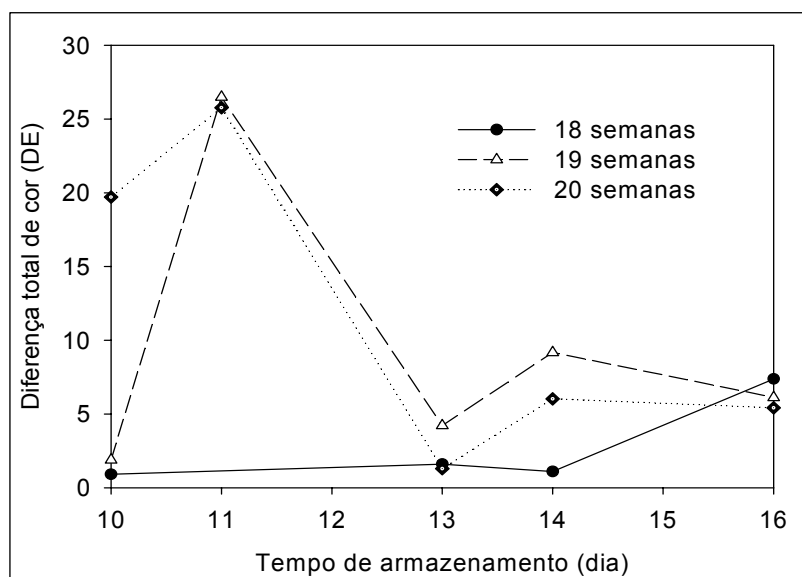


Figura 40. Diferenças estimadas de cor da casca entre os frutos anteriormente armazenados durante 10 dias a 10°C e 15°C, para cada estágio de desenvolvimento e tempo de armazenamento após transferência para 25°C.

4.7.2.2. Influência do tempo de armazenamento

Na Figura 41, apresenta-se a evolução da cor da casca, representada pela diferença total de cor (DE), em relação ao 10º dia de armazenamento, para cada temperatura e estágio de desenvolvimento.

Nota-se que os frutos com 18 semanas de desenvolvimento e anteriormente refrigerados a 10°C e 15°C apresentaram, semelhantemente, alteração significativa da cor, após o 4º dia de armazenamento a 25°C, sendo esta alteração ligeiramente maior para os frutos refrigerados a 15°C.

Para os frutos com 19 semanas de desenvolvimento, esta alteração ocorreu, imediatamente, após a transferência para 25°C, praticamente estabilizando após o 1º e 3º dias, para os frutos anteriormente refrigerados a 15°C e 10°C, respectivamente.

A casca dos frutos com 20 semanas e refrigerados a 15°C apresentou uma diferença de cor menor que os outros tratamentos, uma vez que os frutos já estavam em processo de evolução da cor, quando transferidos para 25°C. Esta diferença tornou-se constante, a partir do 1º dia de

armazenamento sob estas condições. Para aqueles anteriormente refrigerados a 10°C, não houve alteração significativa da diferença de cor a partir do 3º dia.

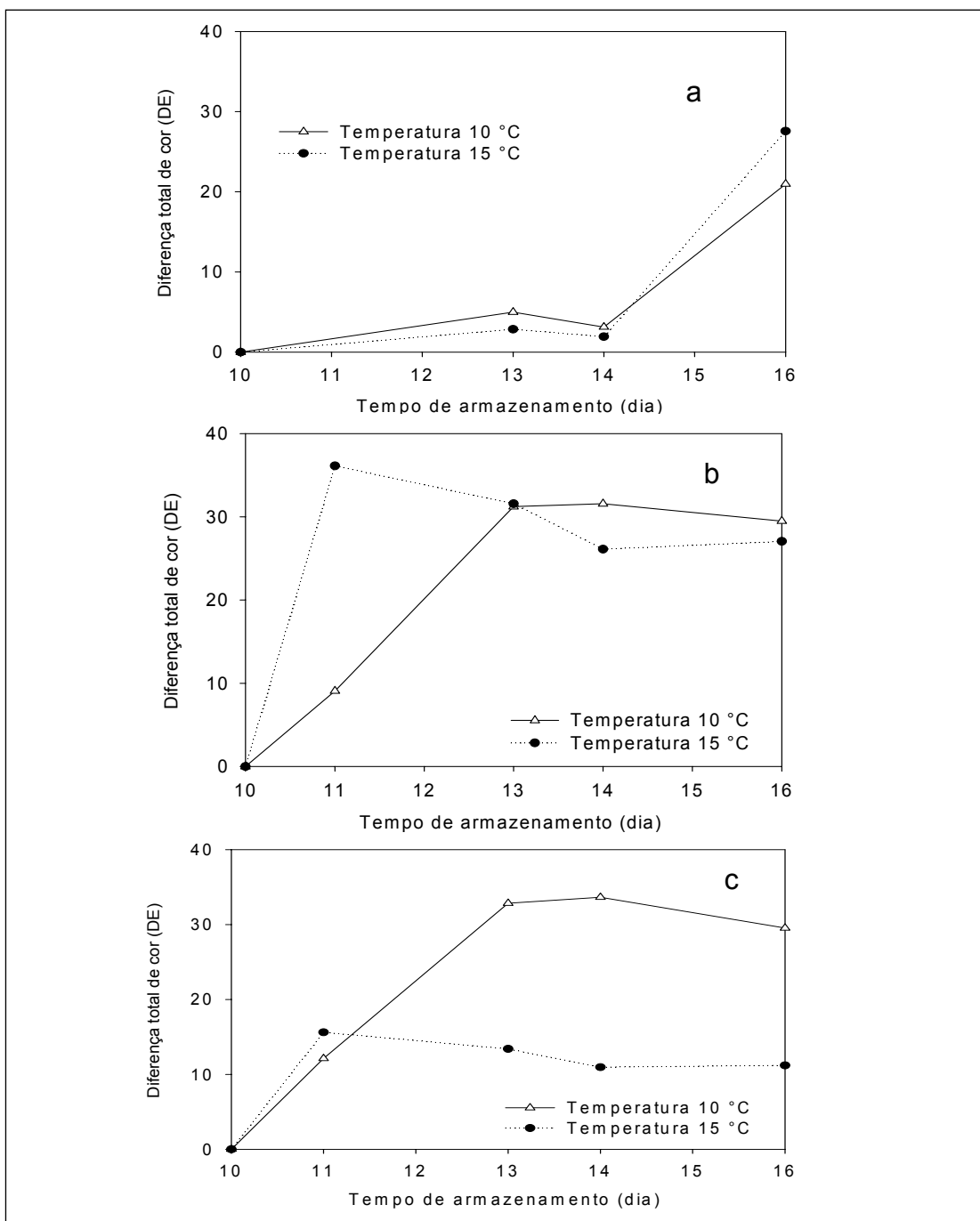


Figura 41. Valores observados da diferença de cor da casca dos frutos de banana 'Prata-Anã' com 18 (a), 19 (b) e 20 (c) semanas de desenvolvimento, durante o armazenamento a 25°C após refrigeração a 10°C e 15°C.

Excetuando os frutos com 20 semanas de desenvolvimento e refrigerados a 15°C, todos os demais, no momento da transferência para a temperatura de 25°C, no 10º dia, apresentavam coloração da casca totalmente verde (Quadros 3, 4, 7, 8 e 10). No entanto, somente os frutos com 18 semanas de desenvolvimento permaneceram com esta coloração por mais tempo, com evolução da cor a partir do 14º dia de armazenamento.

4.7.3. Índices cromáticos: hue (°h), croma (C) e CCI

Na Figura 42, são apresentados os valores do ângulo hue para cada estágio de desenvolvimento dos frutos, durante o armazenamento a 25°C após refrigeração a 10°C e 15°C.

Observa-se uma redução do ângulo hue, a partir do 4º dia de armazenamento a 25°C, para os frutos com 18 semanas de desenvolvimento. Considerando que valores próximos a 90º indicam a predominância de pigmentos responsáveis pela cor amarela, esses frutos permaneceram por mais tempo verdes, em comparação com os de 19 e 20 semanas de desenvolvimento. Verifica-se que os frutos refrigerados a 15°C apresentaram valores de hue igual a 90º, no 5º dia de armazenamento a 25°C, indicando que a casca apresentava-se totalmente amarela.

No entanto, para os frutos com 19 e 20 semanas de desenvolvimento, a redução do ângulo hue ocorreu logo no início do armazenamento a 25°C, sendo mais lenta para os frutos mais novos e anteriormente refrigerados a 10°C, os quais apresentaram maior predominância do amarelo (°h = 90º) entre o 12º e 13º dias de armazenamento.

Na Figura 43, são apresentados os valores de croma (C) ou cromaticidade, que expressa a intensidade da cor, ou seja, a saturação em termos de pigmentos desta cor (Mendonça et al., 2003).

Nota-se que, para os frutos com 18 semanas de desenvolvimento e, anteriormente, refrigerados a 10°C e 15°C, pouca alteração ocorreu na saturação da cor verde até o 4º dia de armazenamento a 25°C, indicando baixa degradação da clorofila. No entanto, após esse período, os valores de croma aumentaram, sendo esta alteração ligeiramente maior para os frutos

refrigerados a 15°C, indicando um maior desmascaramento dos pigmentos responsáveis pela cor amarela.

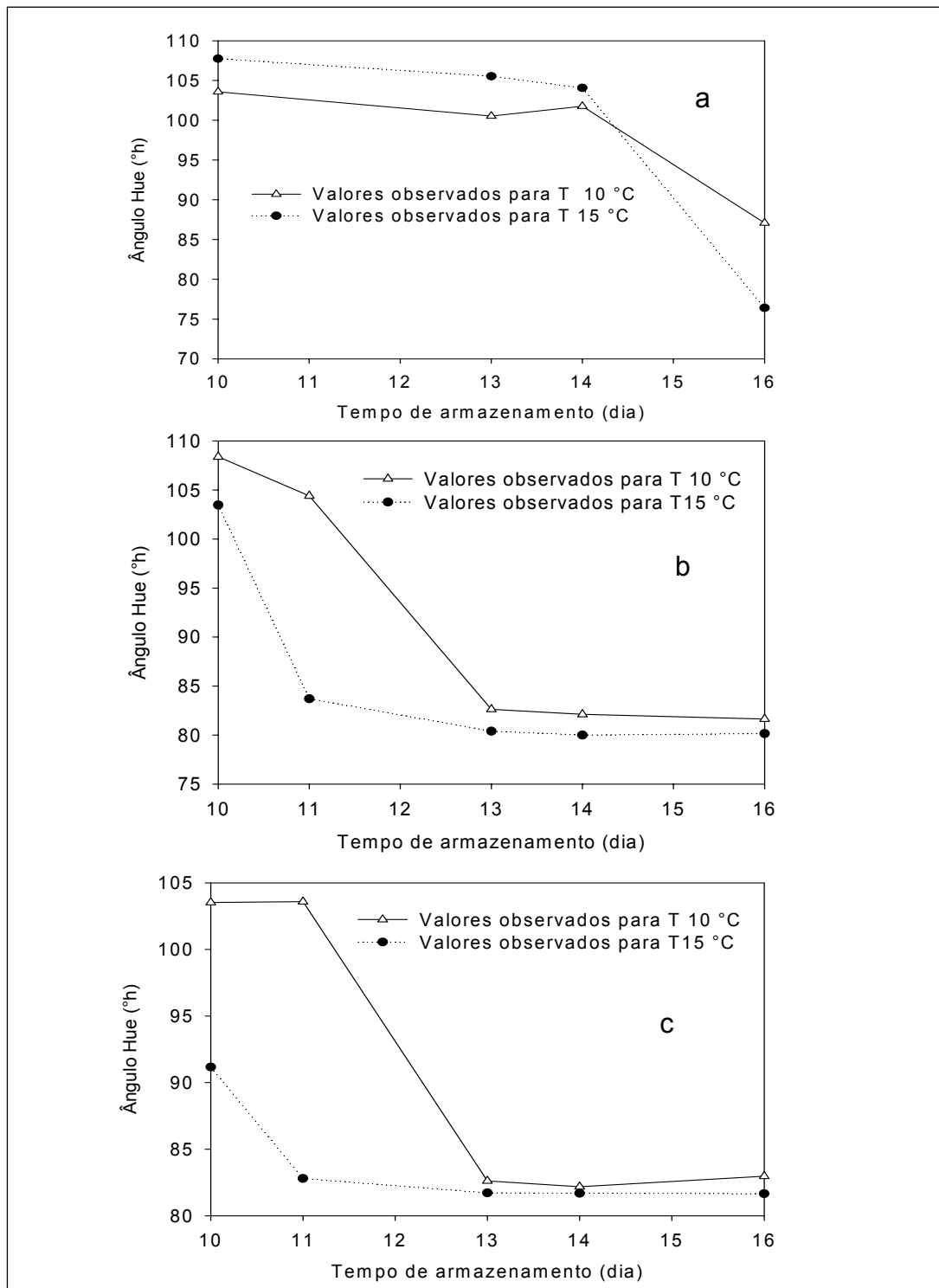


Figura 42. Valores do ângulo Hue da casca dos frutos de bananeira 'Prata-Anã' com 18 (a), 19 (b) e 20 (c) semanas, armazenados a 25°C após 10 dias de resfriamento a 10°C e 15°C.

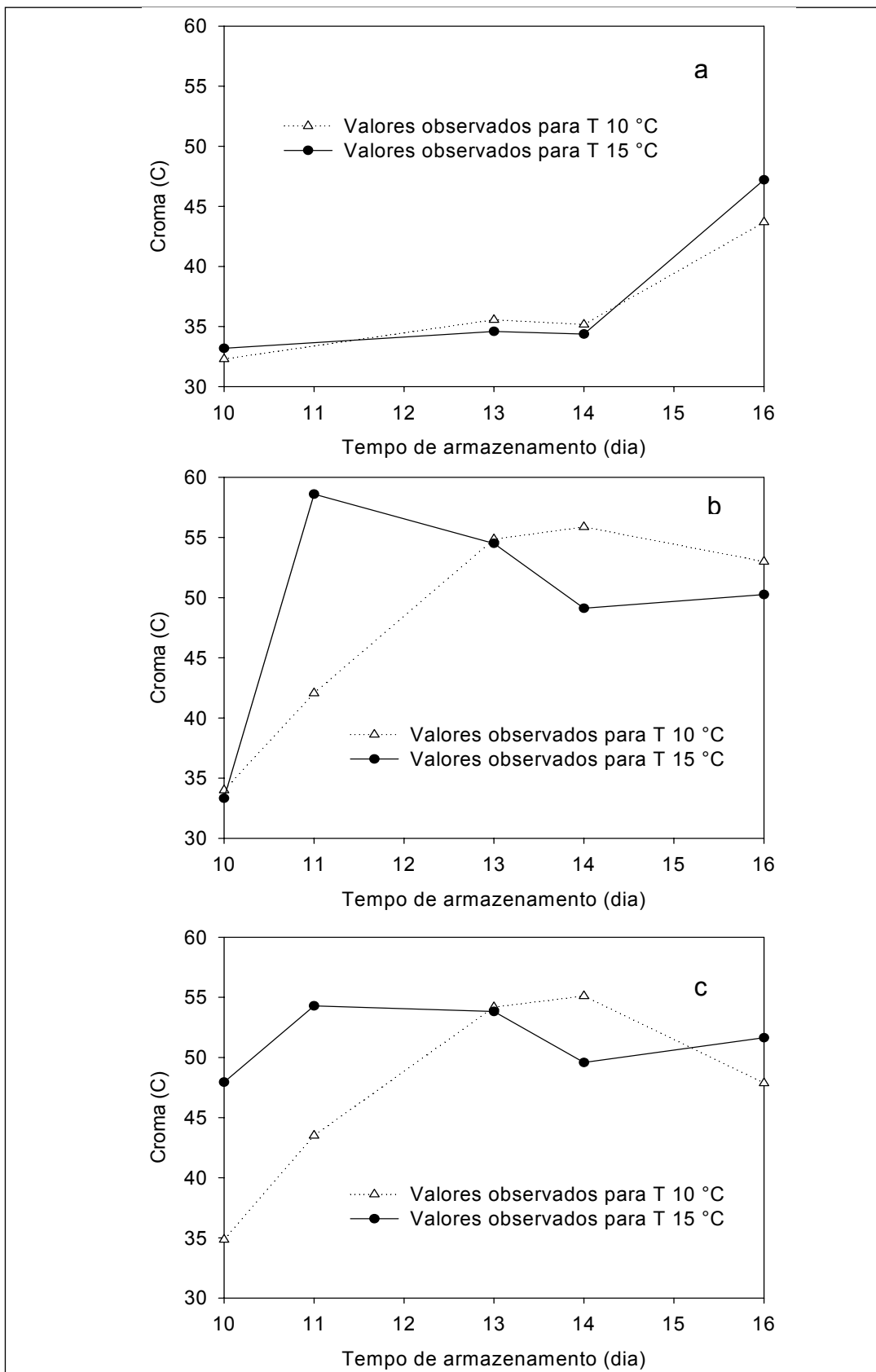


Figura 43. Valores de croma da casca dos frutos de bananeira 'Prata-Anã' com 18 (a), 19 (b) e 20 (c) semanas, armazenados a 25°C após 10 dias de resfriamento a 10°C e 15°C

Observa-se que a intensidade da cor dos frutos com 19 e 20 semanas de desenvolvimento mudou, a partir do momento da transferência para 25°C. Os frutos anteriormente refrigerados a 15°C apresentaram maior intensidade da cor amarela com um dia de armazenamento, indicando, neste ponto, degradação total da clorofila. Os frutos refrigerados a 10°C apresentaram cor amarela mais vívida no 3º dia, praticamente não variando até o final do 6º dia a 25°C.

Os valores do índice cromático arbitrário (CCI) são apresentados na Figura 44. Nos frutos com 18 semanas de desenvolvimento, para os dois tratamentos, o início da mudança de cor ocorreu a partir do 4º dia de armazenamento a 25°C, com valor médio de CCI igual a -4,1 e -3,78 para 10 e 15°C, respectivamente, chegando a 0,78 e 2,44 ao final do 6º dia.

Para os frutos com 19 semanas, a mudança de cor ocorreu logo no início do armazenamento a 25°C, momento em que os valores médios de CCI eram iguais a -3,89 (10°C) e -4,48 (15°C). Ao final do 6º dia, os valores médios de CCI eram 2,08 e 2,66, respectivamente.

A mudança na cor dos frutos com 20 semanas de desenvolvimento e, anteriormente, refrigerados a 15°C continuou ocorrendo após a transferência para 25°C, estabilizando após o 1º dia de armazenamento, nestas condições, com valor médio de CCI igual a 2,00. Os frutos, anteriormente refrigerados a 10°C, apresentaram mudança de cor até o 3º dia de armazenamento a 25°C, estabilizando com valor médio de CCI igual a 1,81.

Observa-se que, Comparando com a evolução das coordenadas 'L*', 'a*' e 'b*', observa-se que este índice, além de explicar a evolução da cor da casca de verde para amarela, durante o amadurecimento, identifica as diferenças entre os tratamentos, podendo ser utilizado como índice de qualidade durante o processo de amadurecimento do fruto.

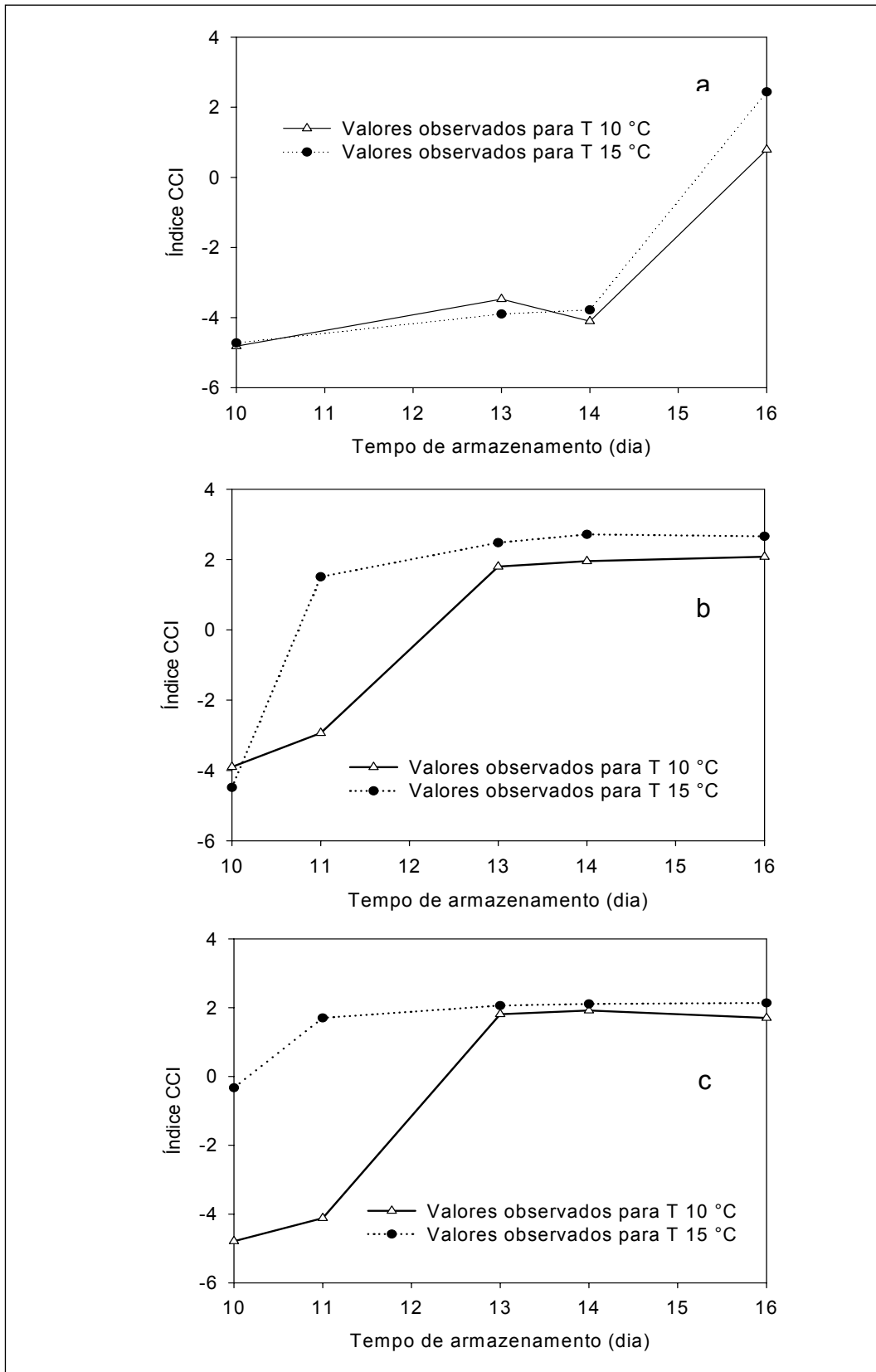


Figura 44. Valores calculados do índice arbitrário (CCI) da casca dos frutos de banana 'Prata-Anã' com 18 (a), 19 (b) e 20 (c) semanas armazenados a 25°C, após 10 dias de resfriamento a 10°C e 15°C.

4.8. Perda de matéria fresca

Na Figura 45, são apresentados os valores de perda de matéria fresca durante 6 dias de armazenamento a 25°C, após refrigeração a 10°C e 15°C durante 10 dias. Nota-se que os frutos continuaram a perder água, sendo esta perda menor para aqueles com 18 semanas de desenvolvimento e, anteriormente, refrigerados a 10°C. No entanto, para todos os estádios de desenvolvimento, os frutos mantidos a 25°C durante 6 dias, na 1ª etapa, apresentaram perda de matéria fresca menor que aqueles armazenados a 25°C, na 2ª etapa, após refrigeração a 10°C e 15°C (Tabela 5).

Esta maior perda de matéria fresca pode ser devido à perda de permeabilidade das membranas celulares que vão perdendo sua seletividade com o amadurecimento, encontrando-se mais permeáveis a moléculas de baixo peso molecular e, assim, perdendo mais água (Palmer, 1971, citado por ROCHA, 2005; BRADY et al., 1970).

Além disso, a condensação do vapor de água nas superfícies resfriadas no momento da transferência dos frutos para 25°C pode ter influenciado o aumento da perda de matéria fresca, considerando-se que a umidade relativa média das câmaras para todos os tratamentos, nas duas etapas, era de 92,5% e que não houve sintomas aparentes de stress por chilling. De acordo com Chitarra & Chitarra (2005), no armazenamento em baixa temperatura, no qual se requer elevada umidade relativa, pequenas flutuações na temperatura podem resultar uma excessiva condensação na superfície resfriada e acentuar a perda de água do produto.

Contudo, o aumento na perda de matéria fresca após transferência para 25°C não foi suficiente para afetar a aparência dos frutos.

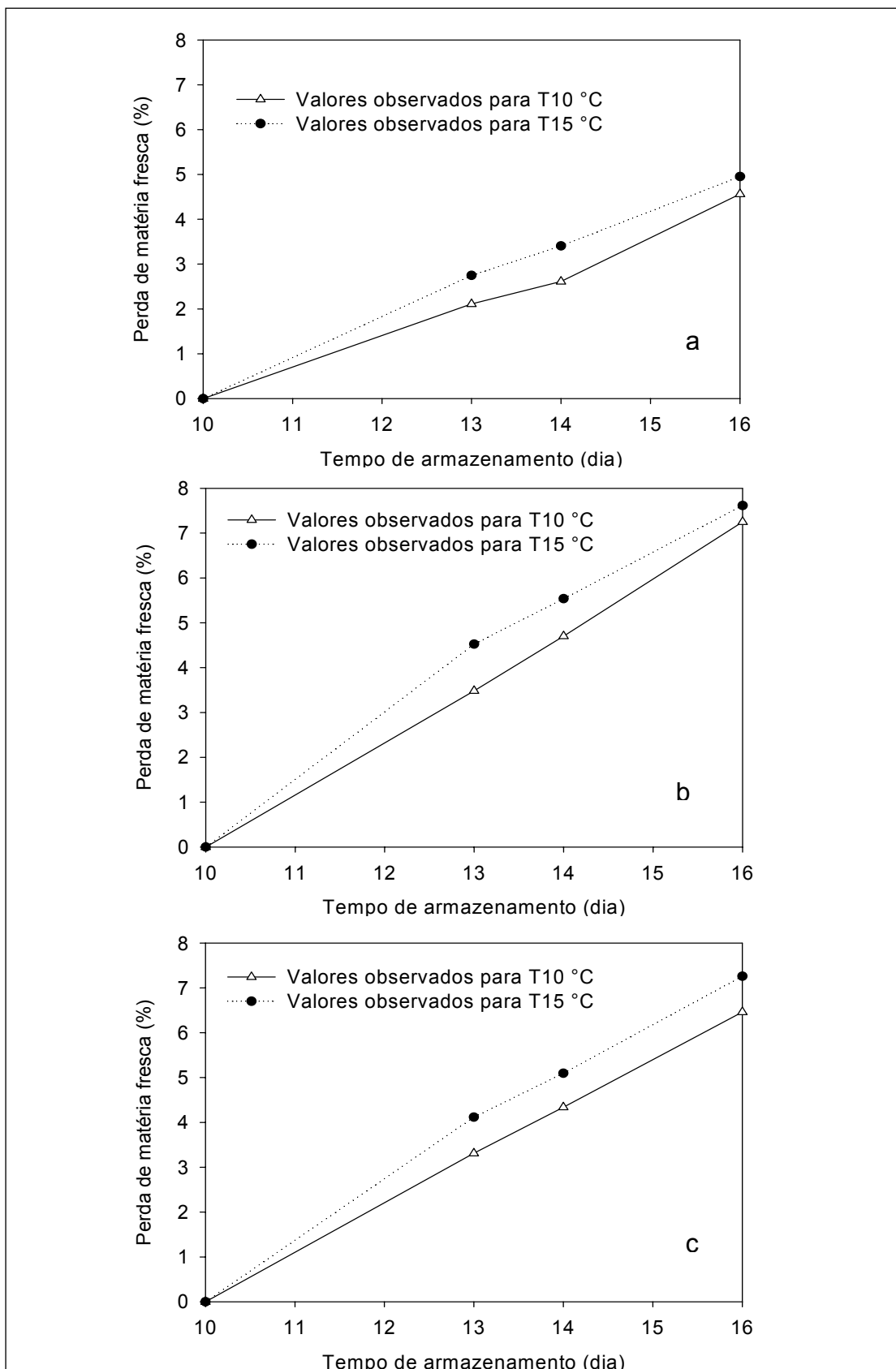


Figura 45. Valores da perda de matéria fresca dos frutos de bananeira 'Prata-Anã' com 18 (a), 19 (b) e 20 (c) semanas de desenvolvimento, armazenados a 25°C, após 10 dias de refrigeração a 10°C e 15° C.

Tabela 5. Perda de matéria fresca (%) dos frutos até o 6º dia de armazenamento a 25°C, na 1ª etapa, e dos frutos, na 2ª etapa, armazenados a 25°C durante 6 dias após refrigeração a 10°C e 15°C

Estádio de desenvolvimento (dia)	1ª Etapa – armazenamento por 6 dias a 25°C	2ª Etapa – 25°C por 6 dias	
		Após refrigeração a 10°C	Após refrigeração a 15°C
18	2,63	4,56	4,95
19	3,35	6,46	7,26
20	3,59	7,25	7,61

4.9. Avaliação da textura da polpa e da casca da banana

As forças máximas de penetração na polpa dos frutos com 18, 19 e 20 semanas de desenvolvimento, durante o armazenamento, são apresentadas na Figura 46.

Observa-se que a firmeza da polpa dos frutos com 18 semanas de idade diminuiu, a partir do 4º dia de armazenamento a 25°C. No entanto, as bananas com 19 e 20 semanas apresentaram início da perda de firmeza logo após a transferência para 25°C. Nota-se que, no momento da transferência, a força máxima de penetração nos frutos com 20 semanas e, anteriormente, refrigerados a 15°C, foi bem menor que a dos demais tratamentos. Este fato ocorreu devido ao início da perda de firmeza antes da transferência para 25°C.

Na Figura 47, verifica-se que, para os frutos com 18 semanas de desenvolvimento, a perda de firmeza da casca iniciou-se a partir do 4º dia de armazenamento a 25°C, apresentando o mesmo comportamento da polpa. Nota-se também que os valores finais da força foram maiores para esses frutos, comparativamente àqueles com 19 e 20 semanas de desenvolvimento, indicando o não amaciamento total da casca.

Os frutos com 19 e 20 semanas de desenvolvimento e, anteriormente, refrigerados a 10°C, apresentaram perda de firmeza após o 1º dia de armazenamento a 25°C; entretanto, para aqueles refrigerados a 15°C, ocorreu perda da firmeza logo após a transferência para 25°C.

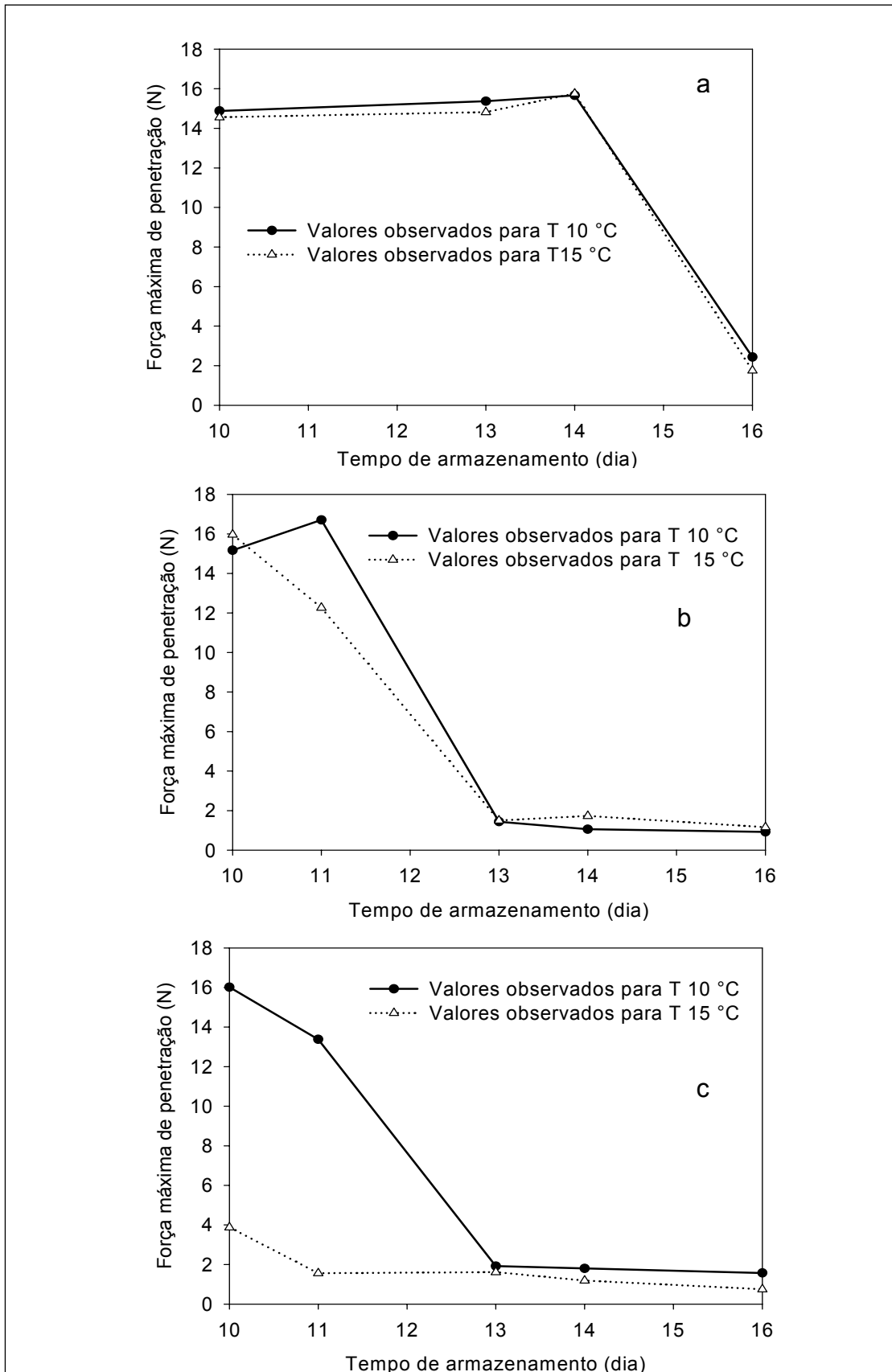


Figura 46. Força máxima de penetração na polpa dos frutos de bananeira 'Prata-Anã' com 18 (a), 19 (b) e 20 (c) semanas, armazenados a 25°C, após 10 dias de resfriamento a 10°C e 15°C.

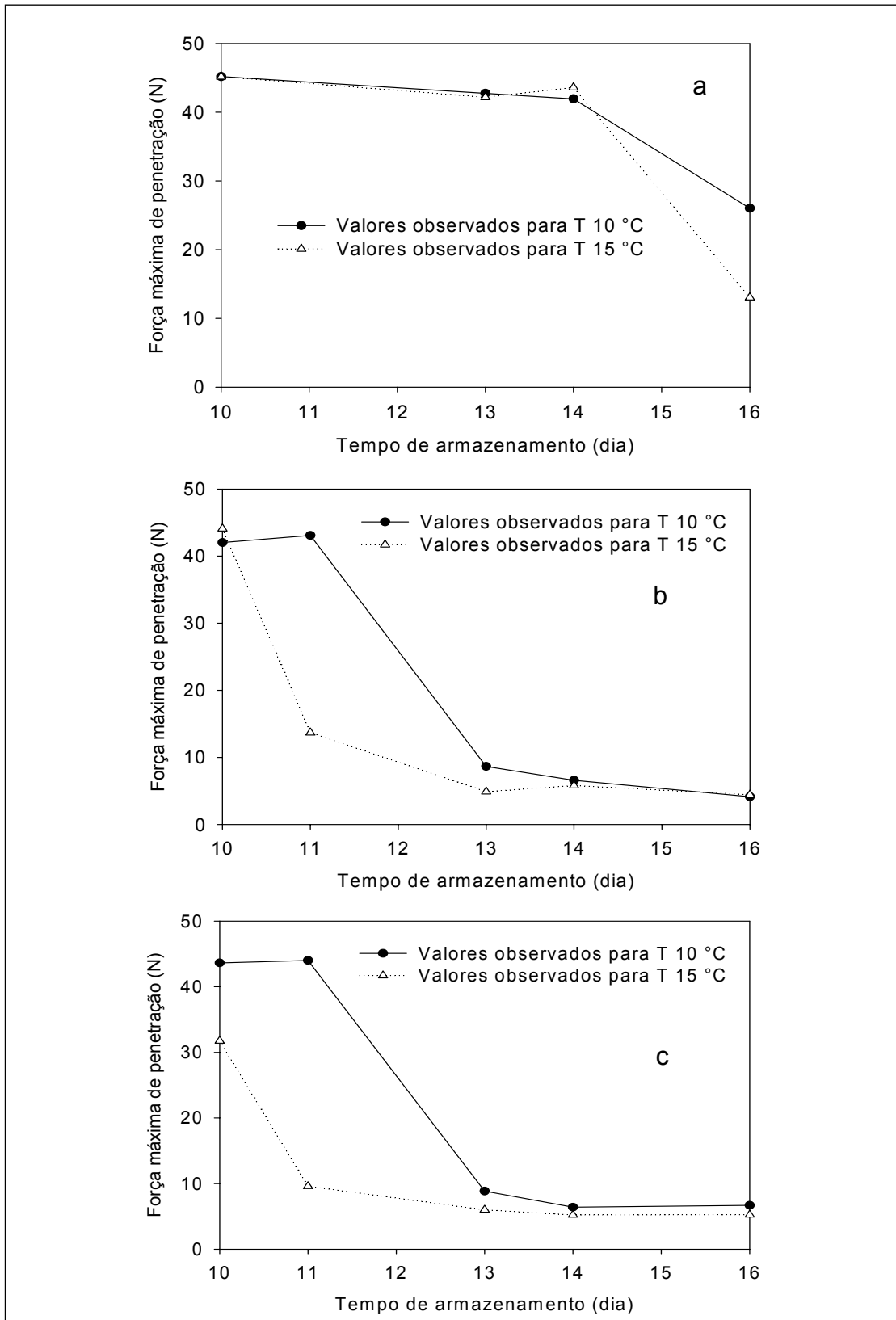


Figura 47. Força máxima de penetração na casca dos frutos de bananeira 'Prata-Anã' com 18 (a), 19 (b) e 20 (c) semanas, armazenados a 25°C, após 10 dias de resfriamento a 10°C e 15°C.

4.10. Avaliação do teor de açúcares solúveis e de amido

Na Figura 48, observa-se que, para os frutos com 18 semanas de desenvolvimento, não houve alteração significativa nos teores de açúcares solúveis totais e de amido até o 4º dia de armazenamento a 25°C, semelhantemente ao comportamento dos demais índices físicos estudados. Os frutos anteriormente refrigerados a 15°C, entretanto, apresentaram, no 16º dia de armazenamento, maior teor de açúcares solúveis que os refrigerados a 10°C, com valor médio de 22,52%.

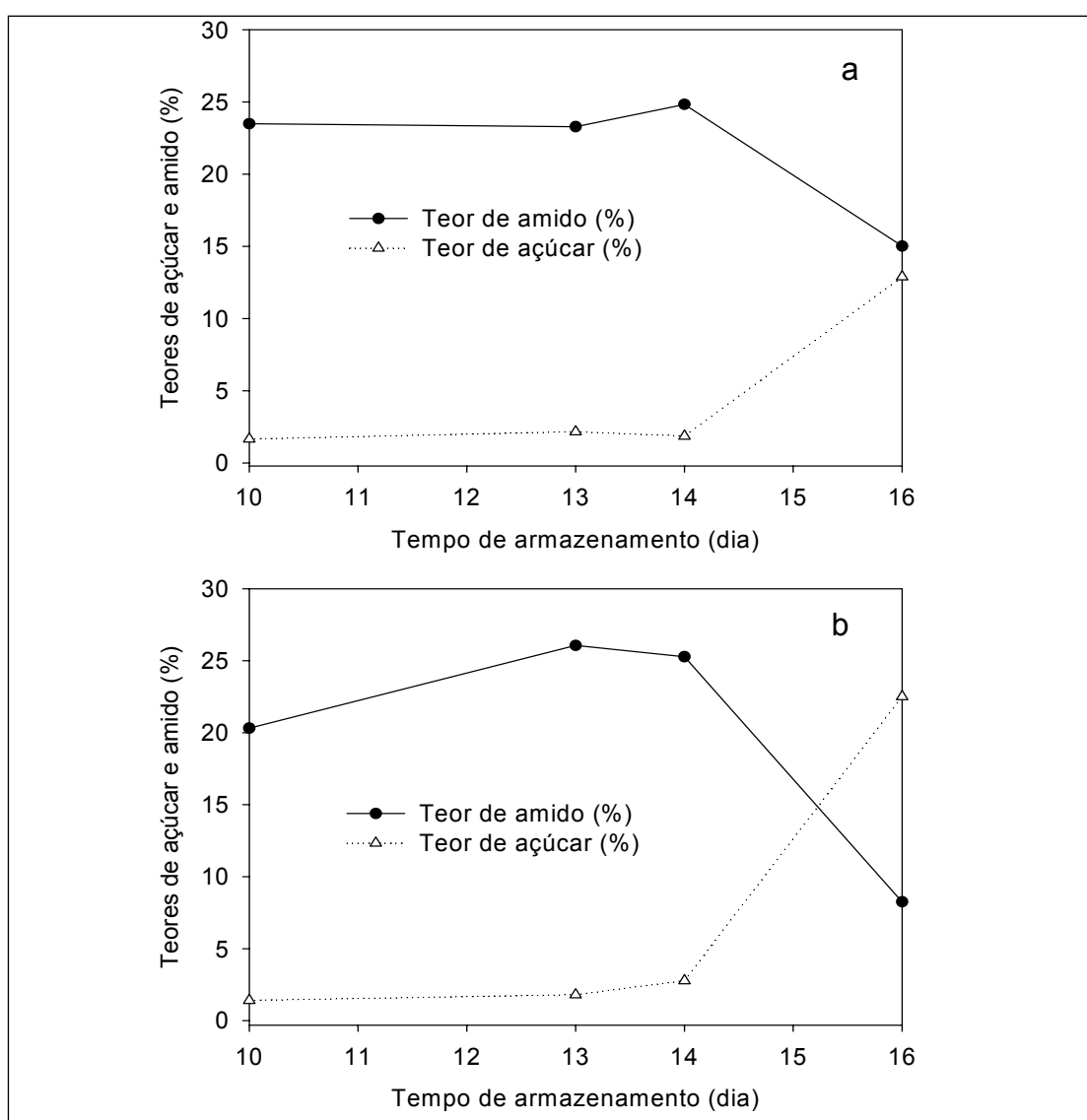


Figura 48. Teores de açúcar (%) e de amido (%) na polpa dos frutos de bananeira 'Prata-Anã' com 18 semanas, armazenados a 25°C após 10 dias de refrigeração a 10°C (a) e 15°C (b).

Para os frutos com 19 e 20 semanas de desenvolvimento, ocorreu alteração significativa nos teores de açúcar e de amido (Figuras 49 e 50), logo após a transferência para a temperatura de 25°C. Verifica-se que, paralelamente à degradação do amido, houve um aumento na concentração de açúcares solúveis totais, chegando a valores próximos àqueles encontrados por Jesus et al. (2004) para o cultivar 'Prata-Anã' (24,9%), quando os frutos apresentavam-se no estágio 6 de coloração da casca.

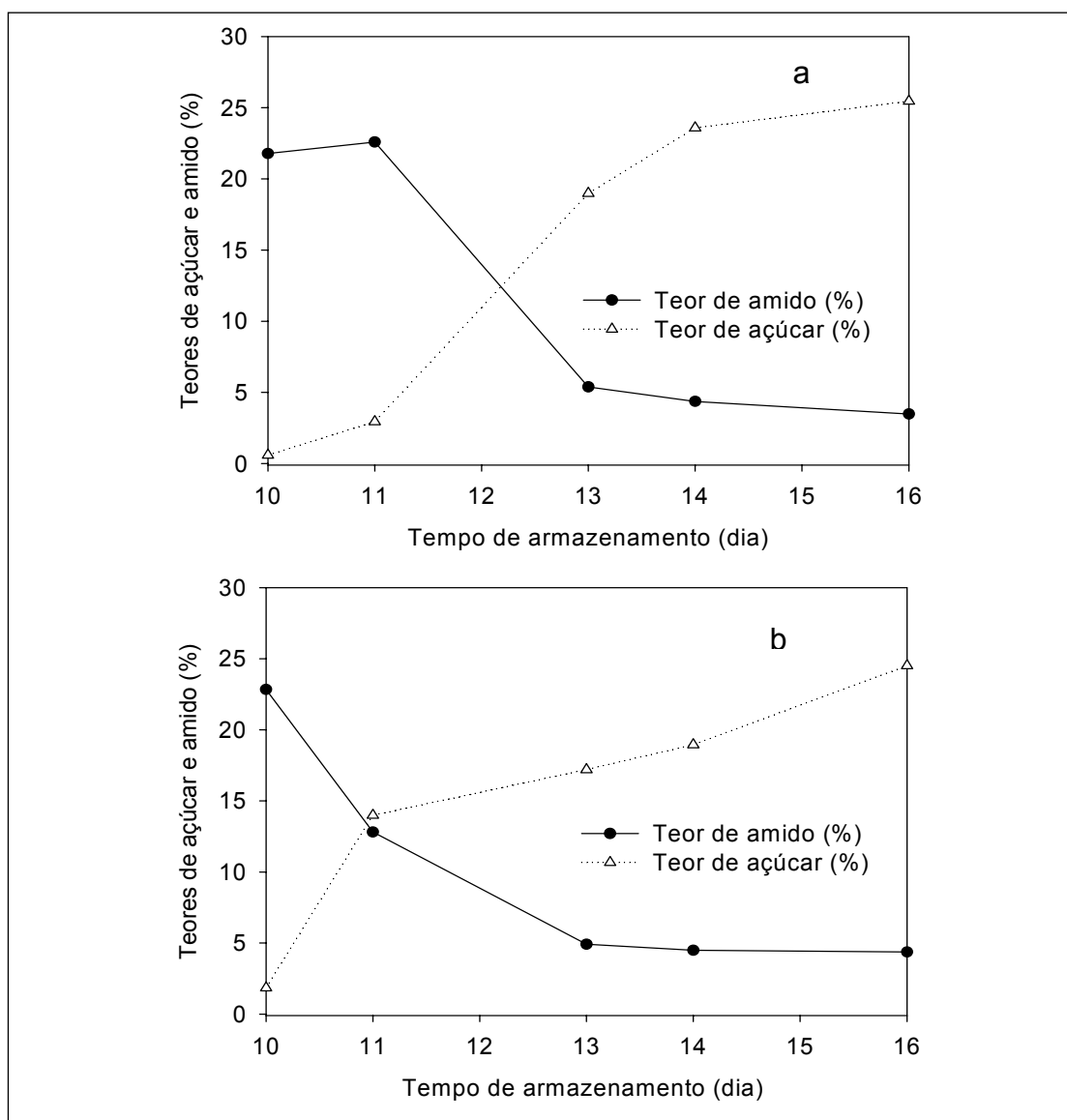


Figura 49. Teores de açúcar (%) e de amido (%) na polpa dos frutos de bananeira 'Prata-Anã', provenientes de cachos com 19 semanas, armazenados a 25°C após 10 dias de refrigeração a 10°C (a) e 15°C (b).

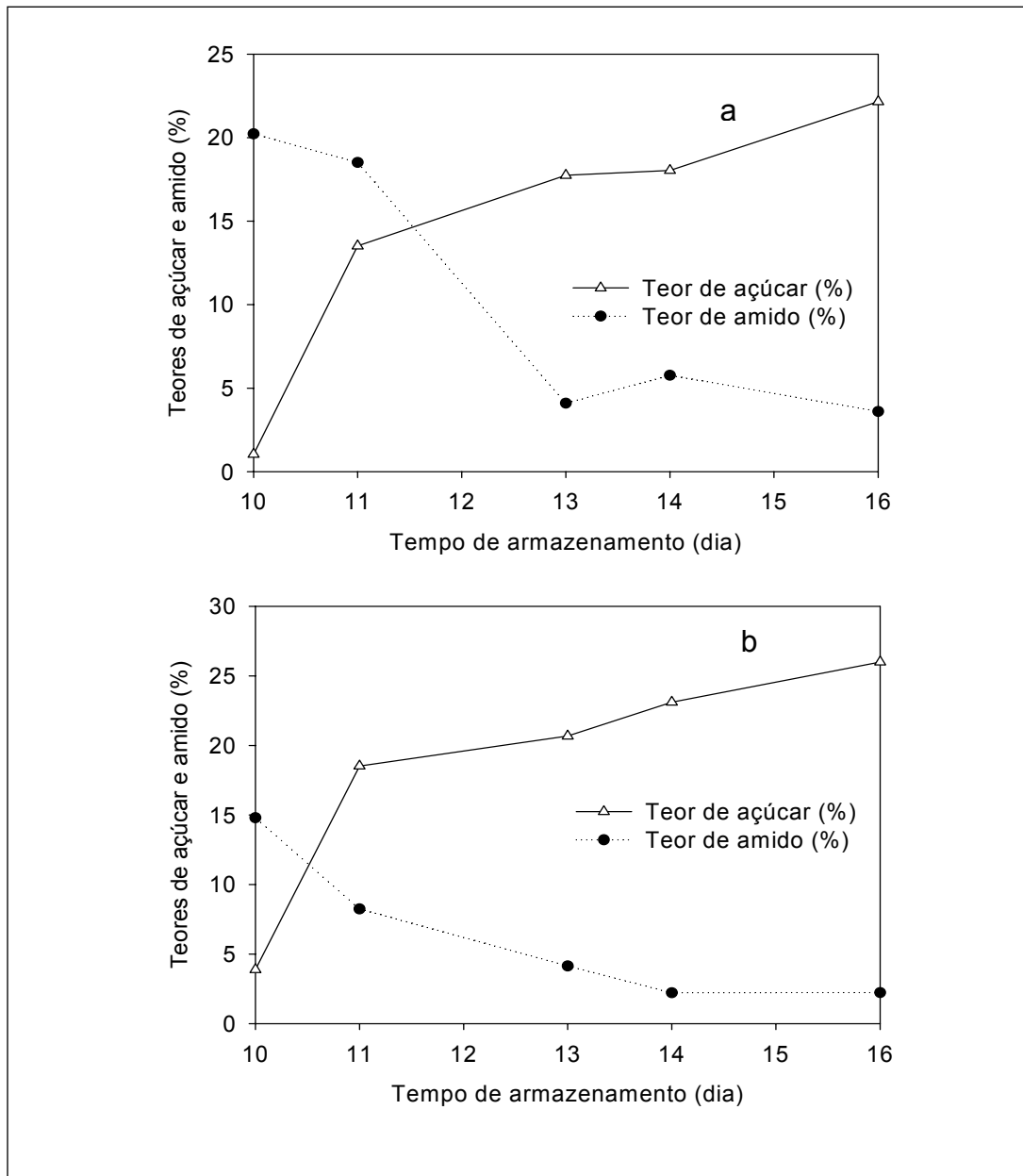


Figura 50. Teores de açúcar (%) e de amido (%) na polpa dos frutos de bananeira 'Prata-Anã' com 20 semanas, armazenados a 25°C, após 10 dias de refrigeração a 10°C (a) e 15°C (b).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados na avaliação da evolução das características físicas, reológicas e químicas, durante o amadurecimento da banana 'Prata-Anã', indicam que o estágio de desenvolvimento de 18 semanas foi o que melhor retardou o processo de amadurecimento dos frutos, os quais permaneceram verdes durante 10 dias, mesmo quando armazenados às temperaturas de 20°C e 25°C. Além disso, a manutenção dos frutos por 10 dias às temperaturas de 10°C e 15°C não causou danos visíveis de injúria por frio, uma vez que, no 4º dia após a transferência para 25°C, os frutos apresentaram evolução da cor da casca, do teor de açúcares solúveis totais e perda da firmeza da casca e da polpa, o que caracteriza o processo de amadurecimento. Contudo, somente os frutos anteriormente armazenados a 15°C apresentaram-se totalmente amarelos no 6º dia de armazenamento, após transferência para 25°C.

Os frutos com 19 semanas de desenvolvimento apresentaram sinais de evolução do amadurecimento a partir do 7º e 6º dias, quando armazenados às temperaturas de 20°C e 25°C, respectivamente, apresentando, ao final de 10 dias, características de completo amadurecimento. Os frutos com 20 semanas de desenvolvimento mantiveram-se totalmente verdes, durante os 10 dias, apenas quando armazenados a 10°C.

No entanto, logo após a transferência dos frutos com 19 e 20 semanas das temperaturas de 10°C e 15°C para a temperatura de 25°C, ocorreu alteração nos índices físicos e químicos dos frutos, chegando a níveis que caracterizaram o completo amadurecimento.

De acordo com estes resultados, pode-se sugerir, em função do período de armazenamento exigido, várias combinações de temperatura e estágio de desenvolvimento dos frutos, conseguindo-se um retardo no amadurecimento da banana 'Prata-Anã'.

Para conseguir que os frutos permaneçam verdes por períodos até 10 dias, as bananas, quando colhidas com 18 semanas de desenvolvimento, podem ser armazenadas a 10, 15, 20 ou 25°C; as bananas com 19 semanas, a 10 e 15°C; e as bananas colhidas com 20 semanas devem ser armazenadas a 10°C.

No entanto, somente os frutos com 18 semanas de desenvolvimento e que foram submetidos às temperaturas de 10 e 15°C permanecem verdes durante mais quatro dias, quando transferidos para a temperatura de 25°C, o que facilitaria a comercialização e manuseio do produto neste período. Os demais frutos amadureceram, logo após sua transferência para 25°C.

Na tentativa de utilização de um único índice, para representar a evolução da cor da casca da banana 'Prata-Anã', o índice CCI foi eficiente em descrever a evolução da cor da casca, durante o amadurecimento. Além disso, apresentou alta correlação com as forças máximas de penetração da polpa e da casca e com os teores de açúcar e amido.

Os modelos de Gaussian e Sigmóide com três parâmetros e os modelos de Gompertz e Sigmóide com quatro parâmetros descrevem, satisfatoriamente, as mudanças na textura, na cor e nos teores de açúcar e de amido, podendo ser utilizados em sistemas automatizados de controle de qualidade.

O coeficiente de transpiração variou em função do estágio de desenvolvimento e da temperatura de armazenamento, com valores entre 515,02 e 210,53 10^{-12} kg. kg⁻¹s⁻¹Pa⁻¹, maiores que o da batata e menores que o da cenoura, indicando que a banana 'Prata-Anã' apresenta uma maior e menor perda de água em relação àqueles dois produtos, respectivamente.

Finalmente, sugere-se para os próximos trabalhos investigar, por um maior período de armazenamento, o amadurecimento dos frutos, nas diferentes temperaturas, principalmente aqueles com 18 semanas de desenvolvimento. Propõe-se, também, avaliar o efeito de diferentes umidades relativas de armazenamento na perda de matéria fresca e no coeficiente de transpiração. Além disso, para comprovar a qualidade e viabilidade para consumo dos frutos, sugere-se que, após os tratamentos de armazenamento, os frutos sejam submetidos à avaliação sensorial.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBOTT, J.A. Quality measurement of fruits and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**. v.15. 1999. p.207-225.
- ADÃO, R.C.; GLÓRIA, M.B.A. Bioactive amines and carbohydrate changes during ripening of 'Prata' banana (*Musa acuminata* x *M. balbisiana*). **Food Chemistry**. v.90, 2005, p.705-711.
- ALI, Z.M.; CHIN, L.H.; LAZAN, H. A comparative study on wall degrading enzymes, pectin modifications and softening during ripening of selected tropical fruits. **Plant Science**. v.167, 2004, p.317-327.
- ALMEIDA, C.O. de; SOUZA, J. da S.; CORDEIRO, Z. J. M.; INÁCIO, E. dos S.B. Mercado Mundial. In:Banana-Pós-colheita (EMBRAPA). Ministério da Agricultura, pecuária e Abastecimento, p.9-14, 2001.
- ALMEIDA, D. **Manuseamento de produtos hortofrutícolas**. 1.ed. Porto: Sociedade Portuguesa de Inovação, 2005. 111p.
- ÁLVARES, V.S.; CORRÊA, P.C.; VIEIRA, G.; FINGER, F.L.; AGNESINI, R.V. Análise da coloração da casca de banana 'prata' tratada com etileno exógeno pelo método químico e instrumental. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.5, n.2, p.155-160, 2003.
- ARTÉS, F.; MÍNGUEZ, M.I.; HORNERO, D. Analysing changes in fruit pigments. In: DOUGALL, D.B.M. **Colour in food**. England: Woodhead Publishing Limited. p.248-282. 2002.
- ASHRAE. Methods of precooling fruits, vegetables, and cut flowers. **Refrigeration Systems and Applications Handbook**. C. 10. American Society of Heating, Refrigerating and Air - Conditioning Engineers, Inc. ASHRAE, Atlanta, Georgia. 1994.

- ÁVILA, I.M.L.B.; SILVA, C.L.M. Modelling kinetics of thermal degradation of colour in peach puree. **Journal of Food Engineering**, v. 39, p.161-166, 1999.
- BASSINELLO, P.Z.; FIORAVANTE, A.P.; NASCIMENTO, J.R.O.; CORDENUNSI, B.R.; LAJOLO, F.M. Distribuição da sacarose-fosfato sintase e sacarose sintase em bananas durante o amadurecimento. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 19, n. 1, jan./abr., 1999, p.102-106.
- BLEINROTH, E.W. **Manuseio pós-colheita, classificação, embalagem e transporte de banana**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE BANANICULTURA, 1, Jaboticabal, 1984. Anais... Jaboticabal: FCAVJ, 1984. p.368-390.
- BOTREL, N. FONSECA, M.J. de O.; GODOY, R.L.O.; BARBOSA, H.T.G. Armazenamento de bananas 'Prata-anã' sob atmosfera controlada. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 29, n. 2, p.125-129, 2004.
- BOTREL, N.; CENCI, S.A. Climatização de 'Prata-Anã'. **Comunicado Técnico. Ministério da Agricultura e Abastecimento. EMBRAPA**. Rio de Janeiro. 49. set, 2002, p.65.
- BOTREL, N.; SILVA, O.F.; BITTENCOURT, A.M. Procedimentos pós-colheita. In: MATSUURA, F.C.A.U., FOLEGATTI, M.I.S. (Eds.) **Banana: pós-colheita**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. p.32-39.
- BOURNE, M. **Food texture and Viscosity: concept and measurement**. New York: Academic Press. 2002, 427p.
- BRADY, C.J.; O'CONNELL, P.B.H.; SMYDZUK, J.; WADE, N.L. Permeability,
- BRUMMELL, D. A.; HARPSTER, M. H. Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants. **Plant Molecular Biology**. n. 47, p.311-340, 2001.
- CANCIAN, A.J.; CARVALHO, V.D. Manejo pós-colheita da banana. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v.6, n.63, p. 47-53, mar. 1980.
- CARVALHO, H.A. de; CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B.; CARVALHO, H.S.de. Efeito da atmosfera modificada sobre componentes da parede celular da goiaba. **Ciênc. Arotec.**, Lavras, v.25, n.3, p.605-615, maio/jun., 2001.
- CASTRO, M.V.; ONO, E.O.; DIAS, M.S.C.; LIMA, L.C.; COSTA, S.M.; MARTINS, R. N. Efeito da refrigeração sobre a firmeza de banana 'Prata-Anã' produzida na região norte de Minas Gerais. **Resumos do XVII Congresso Brasileiro de Fruticultura**. Belém/PA. 2002. CDRom

- CEAGESP. Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo. Normas de classificação. Disponível em: < <http://www.ceagesp.com.br/> > Acesso em 01 set. 2004.
- CHEN, C.R.; RAMASWAMY, H.S. Color and texture change kinetics in ripening bananas. **Lebensm.-Wiss. u.- Technol.**, v. 35, p.415-419, 2002.
- CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. 2. ed. rev. e ampl. Lavras:UFLA, 2005. 785p.
- CORRÊA, P.C. Estudio de los índices de madurez y calidad del aguacate tratado por frío mediante ensayos no destructivos. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid 1992. 213p.
- CORRÊA, P.C.; GIL, J.M. Estudio y descripción matemática de la evolución de textura del fruto de la papaya durante la conservación en atmosfera modificada. **Alimentación Equipos y Tecnología**, Madrid, Spain, v. 191, n. 06, p. 93-96, 2004.
- DELWICHE, M.J.; AFFELDT, H.A.; BIRTH, G.; BROWN, G.K.; GUYER, D.E.; HETZRONI, A.; PELEG, K.; THAI, C.N. Surface color measurement of fruits and vegetables. In: Proceedings of the International Workshop... Spokane, Washington. **Nondestructive technologies for quality evaluation of fruits and vegetables...** Michigan: American Society of Agricultural Engineers, 1993. p.63-71.
- DURIGAN, J.F.; RUGGIERO, C. **Bananas de qualidades**. Jaboticabal, SP. FUNEP, 1995. 37p.
- ERRINGTON, N.; MITCHELL, J.R.; TUCKER, G.A. Changes in the force relaxation and compression responses of tomatoes during ripening: the effect of continual testing and p-polygalacturonase activity. **Postharvest Biology and Technology**. v.11, p.141-147, 1997.
- FARKAS, C. Curso sobre aplicações em colorimetria e aparência na indústria. São Paulo: Tecnocor Serviços. 2003. 140p. (apostila)
- FERRIS, R.S.B.; ORTIZ, R. VUYLSTEKE, D. Fruit quality evaluation of plantains, plantain hybrids, and cooking bananas. **Postharvest biology and technology**, v.15, p.73-81, 1999.
- FINGER, F.L.; VIEIRA, G. **Controle da perda pós-colheita de água em produtos hortícolas**. Viçosa: UFV, 29p. 1997. (Caderno Didático).
- FISCHER, R.L.; BENNETT, A.B. Role of cell wall hydrolases in fruit ripening. **Annu. Rev. Plant. Physiol. Plant. Mol. Biol.** v.42, 1991, p.675-703.
- GOTTREICH, M.; HALEVY, Y. Delaying ripening of pre-harvest bananas (Dwarf Cavendish) with Giberellins. **Fruits D'Outre Mer**. v.37. n.2. 1982. p.97-102.

- HODGE, J.E.; HOFREITER, B.T. Determination of reducing sugars and carbohydrates. In: WHISTLER, R.L.; WOLFROM, M.L. (eds). **Methods in carbohydrates chemistry**, New York, Academic Press, v.1, p. 380-94, 1962.
- HUBER, D.J.; KARAKURT, Y.; JEONG, J. Pectin degradation in ripening and wounded fruits. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v.11, n.2, p.224-241, 2001.
- HUTCHINGS, J.B. The perception and sensory assessment of Colour. In: MACDOUGALL, D. B. (editor). **Colour in food**. England: Woodhead Publishing Limited, 2002. p.9-32.
- IBARZ, A.; GONÇALVES, C.; EXPLUGAS, S. Rheology of clarified passion fruit juices. **Fruit Processing**. v.6, n.8, 1996, p.330-333.
- JESUS, S.C.; FOLEGATTI, M.I.S.; MATSUURA, F.C.A.U; CARDOSO, R.L. Caracterização física e química de frutos de diferentes genótipos de bananeira. **Bragantia**. v.63, n.3, 2004, p.315-323.
- JHA, S.N.; KINGSLEY, A.R.P.; CHOPRA, S. Physical and mechanical properties of mango during growth and storage for determination of maturity. **Journal of Food Engineering**. v.72, 2006, p.73-76.
- JIMÉNEZ, M.; CUQUERELA, J.; MARTÍNEZ, J.M. Determination of a color index for citrus fruit degreening. **Proc. Int. Soc. Citriculture**. v.2, p.750-753, 1981.
- KAJUNA, S.T.A.R.; BILANSKI, W.K.; MITTAL, G.S. Effect of ripening on the parameters of three stress relaxation models for banana and plantain. **American Society of Agricultural Engineers**, v.14, n.1, p.55-61, 1998.
- KAYS, S.J. Postharvest physiology of perishable plant products. New York: Van Nostrand Reinhold. 1991, 532p.
- KEEY, R.B. Colour development on drying. In: 14th International Drying Symposium, v. A, 2004, São Paulo, Brazil. Drying 2004 – **Proceedings of the 14th International Drying Symposium**. p.33-47.
- KOJIMA, K.; SAKURAI, N.; KURAISHI, S. Fruit softening in banana: correlation among stress-relaxation parameters, cell wall components and starch during ripening. **Physiologia Plantarum**. v.90, 1994a, p.772-778.
- KOJIMA, K.; SAKURAI, N.; KURAISHI, S. Changes in firmness and chemical constituents of plantain fruit during ripening after ethylene treatment. **Jpn. J. Trop. Agr.** v.38, n.4, 1994b, p.323-327.
- KROKIDA, M.K.; KARATHANOS, V.T.; MAROULIS, Z.B. Compression analysis of dehydrated agricultural products. **Drying Technology**, v. 18, n.2, 2000, p.395-408.

- LANCASTER, J.E; LISTER, C.E. Influence of pigment composition on skin color in a wide range of fruit and vegetables. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** v.122, n.4, 1997, p.549-598.
- LENZ, M.K.; LUND, D.B. Experimental procedures for determining destruction kinetics of food components. **Food Technology**, v.42, p.51-58, 1980.
- LIMA, A.G.B. de; NEBRA, S.A.; QUEIROZ, M.R. Aspectos científico e tecnológico da banana. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.2, n.1, p.87-101, 2000.
- LOPES, R.P.; HARA, T.; SILVA, J.S. Avaliação da qualidade de grãos de café pela colorimetria. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.6, n.3, p.160-169, 1998.
- MASCARENHAS, G. C. C. Banana: comercialização e Mercados. **Informe Agropecuário**, v.20, n. 196, p. 97-108, jan./fev. 1999.
- McCREADY, R.M.; GUGGOLZ, J.; SILVEIRA, V.; OWENS, H.S. Determination of starch and amylase in vegetables. Application to peas. **Analytical Chemistry**, v.22, p.1156-1158, 1950.
- MENDONÇA, K.; JACOMINO, A.P.; MELHEM, T.X.; KLUGE, R.A. Concentração de etileno e tempo de exposição para desverdecimento de limão 'siciliano'. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.6, n.2, p.179-183, jul/dez, 2003.
- MOHSENIN, N.N. **Physical properties of plants and animal materials**. New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1986. 730p.
- MOTA, R.V.; LAJOLO, F.M.; CORDENUNSI, B.R. Composição em carboidratos de alguns cultivares de banana (*Musa* spp.) durante o amadurecimento. **Ciência Tecnologia de Alimentos**. v.17, n.2, 1997, p.94-97.
- NUSSINOVITCH, A.; PELEG, M.; NORMAND, M.D. A modified Maxwell and a non-exponencial model for characterization of the stress relaxation of agar and alginate gels. **Journal of Food Science**, v.54, n.4, p.1013-1016, 1989.
- OLIVEIRA, E.F. Influência da temperatura e do tempo de armazenamento no amadurecimento da banana 'Prata-Anã' produzida no Norte de Minas Gerais. Viçosa:UFV, 2000. 52p. (Dissertação de mestrado).
- PATEL, R.Z. A note on the seasonal variations in starch content of different parts of arabica coffee trees. **East African Agricultural and Forestry Journal**, n.36, p.1-6, 1970.
- PELEG, M. Characterization of the stress relaxation curves of solid foods. **Journal of food science**. v.44, n.1, p.277-281, 1979.

- PELEG, M. Linearization of relaxation and creep curves of solid biological materials. **Journal of Rheology**, v.24, n.4, p.451-463, 1980.
- PRABHA, T. N.; BHAGYALAKSHMI, N. Carbohydrate metabolism in ripening banana fruit. **Phytochemistry**. v.48, n.6, p. 915-919, 1998.
- RAMASWAMY, H.S.; TUNG, M.A. Technical note: Textural changes as related to color of ripening bananas. **International Journal of Food Science and Technology**, v.24, 1989, p.217-221.
- RANGEL, A.; PENTEADO, L.A.C.; TONET, R.M. Banana (*Musa sp*). Manual de culturas (CATI). www.agrobyte.com.br. Acesso em 05/06/2006.
- ROCHA, A. Uso de permanganato de potássio na conservação pós-colheita de banana 'Prata'. Viçosa: UFV, 2005. 85p. (Dissertação de mestrado).
- SANTOS, J.E.S.; CHITARRA, I.F.C. Relação entre a idade do cacho de banana 'Prata' à colheita e a qualidade dos frutos após a colheita. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.33, n.9, set., 1998.
- SEYMOUR, G. B. Banana. In: SEYMOUR, G.B.; TAYLOUR, J.E.; TUCKER, G.A. **Biochemistry of Fruit Ripening**. Ed. Chapman & Hall. 3 ed. 1993. 454p.
- SIGRIST, J.M.M. Transpiração. In: BLEIROTH, E. W. et al. **Tecnologia de pós-colheita de frutas tropicais**. 2ªed. Campinas: ITAL, 1992. p.33-40.
- SILVA, C.S. et al. Amadurecimento da banana prata climatizada em diferentes dias após a colheita. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 30, n.1, jan./fev., 2006, p.103-111.
- SINGH, K.K.; REDDY, B.S. Post-harvest physico-mechanical properties of orange peel and fruit. **Journal of Food Engineering**. v.73, 2006, p.112-120.
- SOTO, B.M. **Bananos**. San José: Litografia e Imprensa LIL. 1985. p.453-63, 625-57.
- sugar accumulation, and respiration rate in ripening banana fruits. **Australian Journal Biology Science**, v.23, p.1143-1152, 1970.
- VILAS BOAS, E.V.B.; CHITARRA, A.B.; CHITARRA, M.I.F. Modificações pós-colheita da banana 'Prata' γ -irradiada. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.31, n.9, p.599-607, set. 1996.
- WATTS, K.C.; BILANSKI, W.K. Stress relaxation of alfalfa under Constant displacement. Transactions of the ASAE. v.34, p.2491-2498, 1991.
- WU, T.; ABBOTT, J.A. Firmness and force relaxation characteristics of tomatoes stored intact or as slices. **Postharvest Biology and Technology**, v.24, p.59-68, 2002.

ANEXOS

Tabela 1A. Valores médios observados de L*, a* e b* referentes aos frutos com 18, 19 e 20 semanas de desenvolvimento e armazenados durante 10 dias a 10, 15, 20 e 25°C

Tempo de armazenamento (dia)	18 Semanas											
	10°C			15°C			20°C			25°C		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	A*	b*	L*	a*	b*
0	50,9992	-7,6338	32,9499	50,9992	-7,6338	32,9499	50,9992	-7,6338	32,9499	50,9992	-7,6338	32,9499
2	50,8800	-6,6233	31,9900	52,5133	-6,8800	33,1267	49,4500	-6,8633	32,5600	51,6567	-7,0367	32,6533
3	50,7567	-7,4200	31,7000	50,7900	-7,2467	32,3500	51,9233	-6,9067	31,3933	50,1800	-7,1233	31,1933
4	49,9100	-7,7267	32,7400	49,6700	-7,9933	32,9267	49,2000	-7,6933	32,1600	50,8467	-7,8700	33,1433
5	51,1600	-8,1333	34,3700	48,9533	-8,1867	33,5733	49,6733	-7,8700	32,2867	48,9167	-8,0367	32,9567
6	50,4167	-7,7700	33,3533	51,1367	-8,1933	33,2867	50,7300	-7,9433	32,7200	48,4200	-7,8200	31,8533
7	50,3067	-7,9267	32,8733	52,2633	-8,3200	34,2567	50,9033	-7,9433	32,4100	50,9467	-8,0800	32,0300
8	53,1200	-7,7767	33,8600	49,7200	-7,9700	32,5967	52,4767	-7,3333	35,0567	53,0333	-7,4500	34,7633
9	49,6733	-7,9767	32,5933	53,5800	-8,0767	34,4433	51,2767	-7,5000	32,1167	54,1533	-7,3000	35,0567
10	50,2100	-7,5867	31,3833	50,1667	-7,6533	32,2967	52,6067	-7,5933	34,2633	53,3500	-6,9933	33,8600
----- 19 Semanas -----												
0	50,5794	-7,7691	32,8328	50,5794	-7,7691	32,8328	50,5794	-7,7691	32,8328	50,5794	-7,7691	32,8328
2	50,7967	-7,7833	33,3600	48,7833	-7,2433	32,1800	50,4933	-7,0700	31,6300	50,5633	-7,4100	33,0800
3	50,3333	-7,0433	31,5200	49,2133	-7,3033	31,4733	52,3433	-7,5433	33,2800	49,1100	-7,6233	31,4533
4	50,8000	-7,7733	32,8467	50,4100	-7,7133	33,0433	48,9900	-7,3033	32,0600	47,3700	-7,2900	29,6667
5	50,5233	-7,9133	32,3633	52,9567	-7,8233	33,8033	47,5133	-7,2833	30,4833	48,6267	-7,4667	31,5800
6	52,0100	-7,8300	33,1067	48,3633	-7,5200	30,5467	49,3267	-7,8667	31,9467	52,0800	-7,4033	32,5733
7	52,0733	-8,2167	33,8900	50,9733	-7,8233	31,1933	50,6833	-7,6900	31,4233	57,6767	-4,1067	40,0600
8	49,1967	-8,2367	32,6333	47,7367	-8,0100	30,6567	51,9100	-6,9433	35,7533	67,3167	6,3500	46,6267
9	49,0933	-8,4400	33,1900	51,2633	-8,3200	32,4133	63,1633	0,8000	45,3133	67,7400	7,9700	47,2400
10	53,7333	-7,0900	33,8533	52,1700	-7,7600	33,1833	67,9433	7,9933	48,3033	65,9333	7,9200	44,2067
----- 20 Semanas -----												
0	50,2856	-7,7870	33,7241	50,2856	-7,7870	33,7241	50,2856	-7,7870	33,7241	50,2856	-7,7870	33,7241
2	49,9600	-7,9067	33,8367	48,4400	-7,6733	31,1200	50,0767	-7,8867	33,5267	49,7767	-7,9067	32,7900
3	51,4433	-7,7100	33,1267	50,7067	-8,2900	34,5967	49,5200	-7,6767	33,2400	50,7767	-7,9133	33,6533
4	49,1600	-7,6600	32,7600	50,5167	-8,0667	33,6467	51,5967	-7,8200	34,8400	51,0867	-7,6067	34,9133
5	48,4767	-7,8833	34,0533	50,5367	-7,9933	33,3400	52,4333	-7,3967	35,6433	59,0933	-5,0867	41,8500
6	51,1500	-7,9300	35,0667	50,7867	-8,2167	34,0000	62,4267	-1,0533	46,5100	67,3367	4,8833	48,2367
7	49,5800	-8,1733	32,8300	51,0900	-8,1000	35,2700	68,2067	6,8333	46,2867	68,6233	6,8800	47,1533
8	51,0967	-7,6200	34,1933	54,1567	-6,9300	39,7667	67,5100	8,2867	49,7767	66,7067	7,4567	47,9967
9	51,4633	-7,0467	33,7600	57,5100	-5,8700	41,9567	67,1833	8,6967	51,0500	66,8000	7,8533	47,6933
10	50,2400	-8,1533	33,8900	62,0533	-0,9767	47,9367	67,6700	7,5633	47,2333	65,2867	8,7600	50,1000

Tabela 2A. Influência das temperaturas na cor da casca para cada estágio de desenvolvimento dos frutos de bananeira, durante 10 dias de armazenamento

Tempo (dias)	T10/T15	T10/T20	T10/T25	T15/T20	T15/T25	T20/T25
18 semanas						
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	2,006	1,558	1,102	3,115	0,991	2,215
3	0,674	1,311	0,823	1,522	1,313	1,768
4	0,404	0,917	1,030	0,948	1,203	1,926
5	3,305	3,255	3,539	1,508	0,636	1,024
6	0,838	0,728	2,498	0,741	3,094	2,470
7	2,428	0,756	1,070	2,324	2,598	0,406
8	3,632	1,429	0,964	3,749	3,993	0,640
9	4,324	1,739	5,157	3,324	1,144	4,118
10	0,917	3,747	4,043	3,134	3,607	1,037
----- 19 semanas -----						
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	2,395	2,145	0,522	1,904	2,002	1,755
3	1,151	2,718	1,356	3,622	0,337	3,715
4	0,441	2,029	4,702	1,775	4,563	2,890
5	2,829	3,604	2,100	6,399	4,881	1,573
6	4,466	2,924	0,687	1,734	4,235	2,862
7	2,939	2,880	9,293	0,393	11,720	11,676
8	2,468	4,332	27,146	6,673	29,062	23,072
9	2,308	20,744	28,537	19,779	27,508	8,722
10	1,828	25,263	21,939	26,937	23,597	4,564
----- 20 semanas -----						
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	3,122	0,332	1,072	2,918	2,121	0,816
3	1,744	1,927	0,874	1,904	1,018	1,344
4	1,671	3,208	2,890	1,628	1,463	0,558
5	2,183	4,292	13,466	3,043	12,413	9,392
6	1,163	17,476	24,488	18,528	25,460	7,895
7	2,870	27,445	28,185	25,246	25,943	0,963
8	6,395	27,663	25,720	22,584	20,790	2,122
9	10,253	28,176	25,522	19,709	17,537	3,482
10	19,707	26,997	27,843	10,246	10,485	3,915

Tabela 3A. Médias e desvios-padrão da perda de matéria fresca (%) dos frutos de bananeira 'Prata-Anã', provenientes de cachos com 18, 19 e 20 semanas de desenvolvimento e armazenados a 25°C, após refrigeração a 10°C e 15°C

Tempo de armazenamento (dia)	Temperatura de refrigeração					
	10°C			15°C		
	18 semanas	19 semanas	20 semanas	18 semanas	19 semanas	20 Semanas
10	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
13	2,75 ± 0,09	3,45 ± 0,72	3,35 ± 0,87	2,11 ± 0,16	4,87 ± 0,86	4,17 ± 1,04
14	3,41 ± 0,13	4,68 ± 0,66	4,38 ± 0,99	2,61 ± 0,16	5,49 ± 0,78	5,15 ± 1,15
16	4,95 ± 0,19	7,24 ± 0,66	6,51 ± 1,27	4,56 ± 0,09	7,58 ± 0,59	7,33 ± 1,33

Tabela 4a. Médias e desvios-padrão das coordenadas 'L*', 'a*' e 'b*' referentes à cor da casca dos frutos de bananeira 'Prata-Anã' provenientes de cachos com 18 semanas de desenvolvimento e armazenados a 25°C, após refrigeração a 10 e 15°C

Tempo de armazenamento (dia)	Temperatura de refrigeração					
	10°C			15°C		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
10	50,21 ± 0,56	-7,58 ± 0,36	31,38 ± 1,38	50,17 ± 1,26	-7,65 ± 0,89	32,29 ± 0,54
13	53,53 ± 2,59	-6,49 ± 1,17	34,96 ± 1,07	52,42 ± 2,53	-6,92 ± 0,66	33,89 ± 1,63
14	50,78 ± 1,21	-7,17 ± 0,21	34,43 ± 1,19	50,32 ± 4,01	-6,42 ± 0,55	33,77 ± 2,77
16	64,12 ± 1,48	2,22 ± 1,24	43,63 ± 3,73	68,05 ± 1,36	7,73 ± 1,02	46,57 ± 3,91

Tabela 5a. Médias e desvios-padrão das coordenadas 'L*', 'a*' e 'b*' referentes à cor da casca dos frutos de bananeira 'Prata-Anã' provenientes de cachos com 19 semanas de desenvolvimento e armazenados a 25°C, após refrigeração a 10 e 15°C

Tempo de armazenamento (dia)	Temperatura de refrigeração					
	10°C			15°C		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
10	53,73±1,32	-7,09 ± 0,87	33,85 ± 0,40	52,17 ± 0,54	-7,76 ± 0,29	33,18 ± 1,22
11	57,57±3,07	-7,00 ± 0,76	41,47 ± 3,20	73,07 ± 1,09	6,42 ± 1,29	58,24 ± 1,78
13	71,86±0,49	7,03 ± 0,39	54,40 ± 0,79	68,23 ± 1,92	9,09 ± 0,47	53,75 ± 4,04
14	70,79±0,89	7,65 ± 1,32	55,34 ± 4,00	64,89 ± 1,37	8,52 ± 0,31	48,37 ± 3,36
16	70,57±0,31	7,69 ± 1,15	52,43 ± 4,16	65,26 ± 3,29	8,59 ± 0,57	49,52 ± 4,17

Tabela 6A. Médias e desvios-padrão das coordenadas 'L*', 'a*' e 'b*' referentes à cor da casca dos frutos de bananeira 'Prata-Anã' provenientes de cachos com 20 semanas de desenvolvimento e armazenados a 25°C, após refrigeração a 10 e 15°C

Tempo de armazenamento (dia)	Temperatura de refrigeração					
	10°C			15°C		
	L	A	B	L	a	b
10	50,24 ± 0,99	-8,15 ± 0,40	33,89 ± 1,62	62,05 ± 0,89	-0,98 ± 2,32	47,94 ± 1,77
11	58,73 ± 3,31	-10,23 ± 1,42	42,29 ± 3,19	74,22 ± 1,60	6,80 ± 1,77	53,86 ± 6,09
13	71,61 ± 1,90	6,97 ± 1,28	53,74 ± 4,74	70,69 ± 0,27	7,75 ± 0,29	53,26 ± 1,32
14	71,64 ± 1,37	7,50 ± 0,55	54,59 ± 1,13	69,29 ± 1,44	7,16 ± 1,53	49,06 ± 5,89
16	72,39 ± 1,43	5,86 ± 1,06	47,52 ± 4,83	68,65 ± 3,31	7,49 ± 1,26	51,09 ± 4,68

Tabela 7A. Médias e desvios-padrão dos índices hue, croma e CCI dos frutos de bananeira 'Prata-Anã' provenientes de cachos com 18 semanas de desenvolvimento e armazenados a 25°C, após refrigeração a 10°C e 15°C

Tempo de armazenamento (dia)	Temperatura de refrigeração					
	10°C			15°C		
	Hue	Croma	CCI	Hue	Croma	CCI
10	103,58 ± 0,05	32,29 ± 1,42	-4,81 ± 0,05	103,32 ± 1,38	33,19 ± 0,68	-4,71 ± 0,41
13	100,56 ± 2,09	35,57 ± 0,90	-3,50 ± 0,82	101,54 ± 0,87	34,59 ± 1,67	-3,91 ± 0,46
14	101,78 ± 0,63	35,17 ± 1,14	-4,11 ± 0,30	100,86 ± 1,85	34,39 ± 2,61	-3,87 ± 1,02
16	87,04 ± 1,71	43,70 ± 3,71	0,80 ± 0,45	80,60 ± 0,45	47,21 ± 4,02	2,44 ± 0,17

Tabela 8A. Médias e desvios-padrão dos índices hue, croma e CCI dos frutos de bananeira 'Prata-Anã' provenientes de cachos com 19 semanas de desenvolvimento e armazenados a 25°C, após refrigeração a 10°C C e 15°C

Tempo de armazenamento (dia)	Temperatura de refrigeração					
	10°C			15°C		
	Hue	Croma	CCI	Hue	Croma	CCI
10	101,82 ± 1,41	34,59 ± 0,44	-3,91 ± 0,58	103,16 ± 0,13	34,08 ± 1,25	-4,48 ± 0,05
11	104,51 ± 2,44	42,84 ± 2,85	-4,54 ± 0,99	83,72 ± 1,19	58,60 ± 1,83	1,50 ± 0,27
13	82,64 ± 0,34	54,85 ± 0,83	1,79 ± 0,08	80,38 ± 0,51	54,51 ± 4,04	2,49 ± 0,20
14	82,16 ± 0,83	55,87 ± 4,14	1,95 ± 0,22	79,99 ± 0,36	49,12 ± 3,36	2,72 ± 0,16
16	81,68 ± 0,60	52,99 ± 4,28	2,07 ± 0,16	80,14 ± 0,42	50,26 ± 4,19	2,67 ± 0,24

Tabela 9A. Médias e desvios-padrão dos índices hue, croma e CCI dos frutos de bananeira 'Prata-Anã' provenientes de cachos com 20 semanas de desenvolvimento e armazenados a 25°C, após refrigeração a 10°C e 15°C

Tempo de armazenamento (dia)	Temperatura de refrigeração					
	10°C			15°C		
	Hue	Croma	CCI	Hue	Croma	CCI
10	103,54 ± 0,83	34,86 ± 1,59	-4,79 ± 0,39	91,23 ± 2,81	47,99 ± 1,72	-0,35 ± 0,79
11	103,69 ± 2,55	43,54 ± 2,89	-4,18 ± 0,97	82,88 ± 1,12	54,29 ± 6,26	1,69 ± 0,29
13	82,65 ± 0,68	54,19 ± 4,86	1,80 ± 0,22	81,72 ± 0,13	53,82 ± 1,34	2,06 ± 0,03
14	82,17 ± 0,65	55,11 ± 1,09	1,92 ± 0,19	81,74 ± 1,04	49,58 ± 6,02	2,09 ± 0,28
16	82,98 ± 0,91	47,88 ± 4,89	1,70 ± 0,25	81,67 ± 1,13	51,64 ± 4,74	2,15 ± 0,39

Tabela 10A. Médias e desvios-padrão das forças máximas de penetração (N) na casca e polpa dos frutos de bananeira 'Prata-Anã', provenientes de cachos com 18 semanas de desenvolvimento e armazenados a 25°C, após refrigeração a 10°C e 15°C

Tempo de armazenamento (dia)	Temperatura de refrigeração			
	10°C		15°C	
	FPE casca	FPE polpa	FPE casca	FPE polpa
10	45,20 ± 4,71	14,88 ± 1,69	45,18 ± 2,17	14,56 ± 1,21
13	42,76 ± 1,65	15,37 ± 0,96	42,17 ± 1,24	14,81 ± 0,52
14	41,95 ± 1,48	15,67 ± 0,98	43,59 ± 1,57	15,76 ± 0,99
16	26,03 ± 3,41	2,44 ± 0,24	13,05 ± 0,39	1,76 ± 0,17

Tabela 11A. Médias e desvios-padrão das forças máximas de penetração (N) na casca e polpa dos frutos de bananeira 'Prata-Anã', provenientes de cachos com 19 semanas de desenvolvimento e armazenados a 25°C, após refrigeração a 10°C e 15°C

Tempo de armazenamento (dia)	Temperatura de refrigeração			
	10°C		15°C	
	FPE casca	FPE polpa	FPE casca	FPE polpa
10	42,02 ± 2,54	15,17 ± 0,59	44,09 ± 1,71	15,96 ± 1,85
11	43,08 ± 2,52	16,71 ± 1,22	13,68 ± 2,77	12,26 ± 2,72
13	8,65 ± 0,69	1,44 ± 0,08	4,89 ± 1,03	1,49 ± 0,04
14	6,58 ± 0,88	1,06 ± 0,49	5,80 ± 1,13	1,73 ± 0,40
16	4,14 ± 0,61	0,92 ± 0,16	4,44 ± 0,34	1,16 ± 0,08

Tabela 12A. Médias e desvios-padrão das forças máximas de penetração (N) na casca e polpa dos frutos de bananeira 'Prata-Anã', provenientes de cachos com 20 semanas de desenvolvimento e armazenados a 25°C, após refrigeração a 10°C e 15°C

Tempo de armazenamento (dia)	Temperatura de refrigeração			
	10°C		15°C	
	FPE casca	FPE polpa	FPE casca	FPE polpa
10	43,64 ± 4,94	16,02 ± 1,61	31,75 ± 3,08	3,88 ± 1,03
11	44,00 ± 0,48	13,38 ± 0,47	9,59 ± 2,05	1,56 ± 0,11
13	8,86 ± 0,44	1,92 ± 0,21	5,99 ± 1,15	1,61 ± 0,08
14	6,41 ± 0,90	1,79 ± 0,38	5,20 ± 1,51	1,19 ± 0,25
16	6,69 ± 1,12	1,57 ± 0,09	5,24 ± 0,53	0,75 ± 0,08

Tabela 13A. Médias e desvio-padrão dos teores de açúcar e amido (%) na polpa dos frutos de bananeira 'Prata-Anã', provenientes de cachos com 18 semanas de desenvolvimento e armazenados a 25°C, após refrigeração a 10°C e 15°C

Tempo de armazenamento (dia)	Temperatura de refrigeração			
	10°C		15°C	
	Açúcar	Amido	Açúcar	Amido
10	1,66 ± 0,14	23,49 ± 0,66	1,42 ± 0,57	20,32 ± 2,48
13	2,16 ± 0,44	23,28 ± 2,46	1,81 ± 0,18	26,06 ± 0,94
14	1,87 ± 0,35	24,83 ± 0,45	2,79 ± 0,59	25,28 ± 0,46
16	12,89 ± 1,48	15,02 ± 2,29	22,52 ± 1,85	8,26 ± 1,22

Tabela 14A. Médias e desvio-padrão dos teores de açúcar e amido (%) na polpa dos frutos de bananeira 'Prata-Anã', provenientes de cachos com 19 semanas de desenvolvimento e armazenados a 25°C, após refrigeração a 10°C e 15°C

Tempo de armazenamento (dia)	Temperatura de refrigeração			
	10°C		15°C	
	Açúcar	Amido	Açúcar	Amido
10	0,30 ± 0,18	23,53 ± 3,10	0,30 ± 0,18	23,53 ± 3,10
11	2,95 ± 0,56	22,59 ± 0,52	13,98 ± 3,12	12,81 ± 3,62
13	18,99 ± 2,09	5,39 ± 1,41	17,20 ± 4,13	4,91 ± 0,58
14	25,46 ± 1,75	4,36 ± 0,59	18,96 ± 2,63	4,49 ± 1,17
16	23,58 ± 2,24	3,48 ± 0,88	24,51 ± 5,88	4,37 ± 1,24

Tabela 15A. Médias e desvio-padrão dos teores de açúcar e amido (%) na polpa dos frutos de bananeira 'Prata-Anã', provenientes de cachos com 20 semanas de desenvolvimento e armazenados a 25°C, após refrigeração a 10°C e 15°C

Tempo de armazenamento (dia)	Temperatura de refrigeração			
	10°C		15°C	
	Açúcar	Amido	Açúcar	Amido
10	0,27 ± 0,19	25,42 ± 2,87	0,27 ± 0,19	25,42 ± 2,87
11	18,52 ± 7,07	18,51 ± 3,12	13,52 ± 3,07	8,24 ± 3,06
13	20,67 ± 1,00	4,09 ± 0,44	17,45 ± 4,34	4,15 ± 1,40
14	23,11 ± 3,29	5,77 ± 0,65	18,04 ± 6,19	2,22 ± 0,39
16	25,99 ± 3,38	3,60 ± 0,86	22,16 ± 3,44	2,23 ± 0,17