

GLORIA ANNABELL COBEÑA RUIZ

RELAÇÃO ENTRE COMPONENTES DA PAREDE CELULAR E ATIVIDADE
ENZIMÁTICA NO PEDICELO E A SUSCETIBILIDADE DE BANANAS AO
DESPENCAMENTO NATURAL

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2003

GLORIA ANNABELL COBEÑA RUIZ

RELAÇÃO ENTRE COMPONENTES DA PAREDE CELULAR E ATIVIDADE
ENZIMÁTICA NO PEDICELO E A SUSCETIBILIDADE DE BANANAS AO
DESPENCAMENTO NATURAL

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

APROVADA EM: 12 de março de 2003.

Prof. Dalmo Lopes de Siqueira
(Conselheiro)

Prof. Sebastião Tavares de Rezende
(Conselheiro)

Prof. Claudio Horst Bruckner

Prof. Paulo César Corrêa

Prof. Luiz Carlos Chamhum Salomão
(Orientador)

Ofereço esta etapa de minha vida a Deus, Pai de infinito amor e bondade.

Aos meus pais Emérita (*in memoriam*) e Armando, que, com amor, sempre me proporcionaram condições para estudar.

Ao meu esposo Alex, pelas noites de sonho perdidas, pela amizade, pelo amor e companheirismo e por impulsionar-me a chegar até o fim deste trabalho.

Aos meus filhos Zulema, Alex e Jorge, pelas alegrias que dão à minha vida.

Aos meus irmãos Maria, Yari e Manuel, aos meus cunhados Galo e Blanca e aos meus sobrinhos, que sempre acreditaram em mim.

AGRADECIMENTOS

Um trabalho de pesquisa não é fruto dos esforços de uma só pessoa, mas sim de várias. Por isso, eu quero expressar meus agradecimentos, em primeiro lugar, a DEUS, pela vida, saúde e força necessárias na realização desta pesquisa. Aos membros da Igreja Adventista do 7^o Dia, de Viçosa, pelo carinho e pela ajuda espiritual oferecida durante minha estada no Brasil.

A todas as pessoas que, no decorrer desses dois anos, tive o privilégio de conhecer e, ou, com elas trabalhar. Em particular, àquelas que, com um sorriso, atenderam a meus pedidos e, com paciência, escutaram-me e me brindaram com sua colaboração em cada momento, cujos resultados aqui apresentados são os frutos dessa ajuda e da colaboração e entusiasmo delas.

Meus agradecimentos à Universidade Federal de Viçosa (UFV), em particular ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade de realização do Curso de Mestrado; e ao Laboratório de Análise de Frutas do Setor de Fruticultura, por me permitir desenvolver esta pesquisa.

Ao Programa de Modernización del Sector Agropecuario (PROMSA), Equador, pelo apoio financeiro para a realização do Curso.

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), Brasil, pelo apoio na execução do presente trabalho.

Ao Instituto Nacional Autônomo de Investigações Agropecuárias (INIAP) e à Estação Experimental Portoviejo (EEP), nas pessoas de Gustavo Enriquez

(Diretor-Geral) e Marat Rodriguez (Diretor-EEP), por possibilitarem a realização deste aperfeiçoamento profissional.

Ao meu amigo e orientador Professor Luiz Carlos Chamhum Salomão, pela orientação, pela confiança, pelo apoio e, sobretudo, pela grande paciência e amizade; seu exemplo de dedicação profissional marcará profunda e positivamente minha carreira.

Aos meus conselheiros professores Dalmo Lopes de Siqueira e Sebastião Tavares de Rezende, pelas sugestões e críticas durante o desenvolvimento desta pesquisa e pelos valiosos ensinamentos.

Aos professores e funcionários do Setor de Fruticultura, pelas contribuições ao aprimoramento deste trabalho.

A Carlos Miranda, por guiar-me nas primeiras análises enzimáticas.

A João Pereira, funcionário do Laboratório de Análise de Frutas do Setor de Fruticultura do Departamento de Fitotecnia, pela preciosa ajuda na parte experimental deste estudo.

Aos funcionários do Laboratório de Análises Bioquímicas – BIOAGRO, em especial a Inês Chamel José e Jander Mendes, por, com bondade e eficiência, terem contribuído para o desenvolvimento desta tese.

A Márcio e Cenira, funcionários do Laboratório de Cultura de Tecidos e Células Vegetais, pela compreensão e pelo empréstimo de material e equipe de laboratório.

Em especial, aos meus amigos brasileiros Luciano e Cláudio, por terem seguido comigo neste trabalho, ajudando-me a compô-lo.

A Alexandre, Virgínia, Socorro, Marilise, Lurdes, Andréa, Antônio e Sebastião, pela amizade, paciência e disponibilidade em contribuir para com esta pesquisa.

Aos meus amigos equatorianos Digner, Manuel, Roberto, Carlos, Danilo e suas famílias, por, com uma palavra amiga, terem sempre me animado nesta nova etapa de minha vida.

A meus velhos amigos equatorianos Oswaldo Zambrano, Francisco Hinostroza, Flor María Cárdenas, Hugo Alvarez, Alma Mendoza, Nancy Mesa, Ivonne Loor e José Cassanova, pelo incentivo para que eu realizasse este Curso de Mestrado.

Ao meu amigo mexicano Eliseo e sua esposa Graciela, pela atenção e amizade.

Seria impossível expressar aqui os nomes de todos que colaboraram na execução deste trabalho de pesquisa, mas guardo seus rostos e a cada um deles, individualmente, faço os agradecimentos especiais.

BIOGRAFIA

GLORIA ANNABELL COBEÑA RUIZ, filha de Armando Cobeña Aguayo e Emérita Ruiz Valdez, nasceu em Portoviejo – Manabí – Equador, em 8 de março de 1963.

Em dezembro de 1990, graduou-se em Agronomia pela Universidade Técnica de Manabí – Equador.

Em março de 1991, ingressou no Instituto Nacional Autônomo de Investigações Agropecuárias (INIAP), Estação Experimental Portoviejo (EEP), onde atualmente presta serviço.

Em março de 2001, matriculou-se no Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, Brasil, submetendo-se à defesa de tese em 12 de março de 2003.

CONTEÚDO

| | Página |
|--|--------|
| RESUMO | ix |
| ABSTRACT | xi |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS..... | 7 |
| 2.1. Material vegetal..... | 7 |
| 2.2. Seleção e tratamento | 7 |
| 2.3. Características avaliadas | 9 |
| 2.3.1. Análises físicas | 10 |
| 2.3.2. Análises químicas | 12 |
| 2.3.3. Análise enzimática | 14 |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 17 |
| 3.1. Análises físicas | 17 |
| 3.1.1. Resistência ao despençamento | 17 |
| 3.1.2. Consistência da polpa..... | 19 |
| 3.1.3. Percentagem de matéria seca do pedicelo | 21 |
| 3.1.4. Taxa respiratória | 22 |
| 3.2. Carboidratos não-estruturais..... | 24 |
| 3.3. Pectinas | 28 |
| 3.4. Hemicelulose e celulose | 28 |

| | Página |
|--|--------|
| 3.5. Atividade enzimática | 32 |
| 3.5.1. Poligalacturonase..... | 32 |
| 3.5.2. Pectinametilesterase (PME)..... | 34 |
| 3.5.3. Xilanase | 35 |
| 4. CONCLUSÕES | 37 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 38 |
| APÊNDICE | 44 |

RESUMO

COBEÑA, Gloria Annabell Ruiz, M. S., Universidade Federal de Viçosa, março de 2003. **Relação entre componentes da parede celular e atividade enzimática no pedicelo e a suscetibilidade de bananas ao despencamento natural.** Orientador: Luiz Carlos Chamhum Salomão. Conselheiros: Dalmo Lopes de Siqueira e Sebastião Tavares de Rezende.

Um dos maiores problemas na comercialização de bananas é o destacamento individual dos frutos das pencas, fazendo que estes percam ou diminuam seus valores comercial e nutricional, além de contribuir para que as perdas pós-colheita atinjam cerca de 40% da produção brasileira. O presente trabalho teve como objetivos caracterizar o comportamento dos componentes da parede celular, de amido e açúcares solúveis; determinar a atividade enzimática de poligalacturonase (PG), pectinametilesterase (PME) e xilanase na região do pedicelo de duas variedades e um híbrido de banana resistente e suscetível ao despencamento natural durante o amadurecimento; e estabelecer a relação entre o comportamento dos componentes da parede celular e a atividade enzimática, bem como a suscetibilidade de bananas à queda natural. Foram utilizados os genótipos triplóides 'Terra' (AAB) e 'Prata' (AAB) e o híbrido tetraplóide SH-3640 (AAAB). Os resultados evidenciaram uma diferença de comportamento na consistência da polpa entre os genótipos estudados, com a ressalva de que 'Terra' apresentou a maior consistência em todos os

seus estádios de amadurecimento, seguido de 'Prata' e 'SH-3640'. Verificou-se também que o genótipo 'Terra' mostrou resistência ao despencamento, mesmo estando seus frutos maduros, ao contrário de 'SH-3640', que, já a partir do estágio 5 (fruto amarelo com pontas verdes), exibiu suscetibilidade à queda. Em todos os estádios de amadurecimento, o genótipo 'Terra' teve os maiores teores de matéria seca. Por sua vez, o genótipo 'SH-3640' sempre manteve os mais baixos teores. Quanto à taxa respiratória, embora se tenha elevado com o amadurecimento, em nenhum dos três genótipos estudados foi observado comportamento climatérico típico. Do total das frações dos carboidratos estruturais (celulose, hemicelulose e pectina) e não-estruturais (amido, açúcares solúveis redutores e não-redutores), os genótipos 'SH-3640' e 'Prata' tiveram por volta de 80 e 70% de carboidratos estruturais no fruto verde, mantendo-se relativamente constantes durante o amadurecimento. Nesses cultivares, houve redução na proporção de amido e aumento na de açúcares solúveis, principalmente dos redutores. Já o genótipo 'Terra' apresentou variações mais evidentes com relação aos outros dois. Nesse genótipo, diminuíram os teores de pectinas no decorrer do amadurecimento, enquanto os de amido se mantiveram altos mesmo no fruto maduro. Entre as enzimas estudadas, os resultados evidenciaram um papel mais importante de PME e PG na queda de fruto e confirmaram a maior resistência do genótipo 'Terra' ao despencamento, permitindo concluir que PG e PME são as enzimas-chave na solubilização da parede celular que acompanha o amadurecimento e, portanto, têm papel fundamental na indução do despencamento natural. A alta suscetibilidade ao genótipo SH-3640 ao despencamento está associada à elevada atividade de PG e PME e ao baixo teor de matéria seca; a maior resistência ao despencamento do genótipo 'Terra' está relacionada com o maior acúmulo de matéria seca e amido no pedicelo.

ABSTRACT

COBEÑA, Gloria Annabell Ruiz, M. S., Universidade Federal de Viçosa, March, 2003. **Relation between cell wall components and enzyme activities in the pedicel and the susceptibility of bananas to natural fruit dropping.** Adviser: Luiz Carlos Chamhum Salomão. Committee members: Dalmo Lopes de Siqueira and Sebastião Tavares de Rezende.

One of the greatest problems for banana commercialization is finger drop of ripe bananas from the bunch since the market as well as the nutritional value of such isolated fruits is reduced or lost. This contributes to post-harvest losses of about 40% of the Brazilian production. In this study, the behavior of the cell wall components, starch, and soluble sugars was characterized; the enzymatic activity of polygalacturonase (PG), pectinmethylsterase (PME), and xylanase in the pedicel region of two varieties and one hybrid determined; and the relation between the behavior of cell wall components, enzyme activities in the pedicel, and the susceptibility of bananas to natural fruit dropping established. The triploid genotypes 'Terra' (AAB) and 'Prata' (AAB), and the tetraploid hybrid SH-3640 (AAAB) were used. Results showed a difference in the pulp consistence of the studied genotypes. 'Terra' presented the highest consistence throughout all ripening stages, followed by 'Prata' and then 'SH-3640'. Even when the fruits were ripe, 'Terra' was most resistant against fruit dropping, while 'SH-3640' began to present a high susceptibility to fruit dropping from stage 5 on (yellow fruits with green tips). At all ripening stages, 'Terra' presented the highest dry

matter content, while 'SH-3640' continuously maintained the lowest content. In none of the studied genotypes the respiration rate obeyed a typical climacteric behavior, in spite of increases during the ripening process. Of all carbohydrate structural (cellulose, hemicellulose, and pectin) and non-structural (starch, soluble reducing and non-reducing sugars) fractions, the genotypes 'SH-3640' and 'Prata' contained around 70 and 80%, respectively, of structural carbohydrates in the green fruits. This proportion remained relatively constant during the ripening process. In these cultivars, there was a reduction in the starch proportion and an increase of soluble sugars, mainly of reducing sugars. The genotype 'Terra', on the other hand, presented more evident variations than the other two: there was a reduction of pectin contents during the ripening process (from 2.1 to 0.47%), while the starch contents remained above 2% even in ripe fruit. The 'Terra' genotype proved to be the most resistant against fruit dropping. Results evidenced the importance of PG and PME for the degradation, or simply, the solubilization of cell wall components during the ripening process, and, therefore, for natural fruit dropping. The high susceptibility of the SH-3640 genotype is related to the high PG and PME activity and the low dry matter content. In the case of 'Terra', the high resistance to finger drop is related to a greater accumulation of dry matter and starch in the pedicel.

1. INTRODUÇÃO

A banana (*Musa* spp.) é a fruta destinada ao consumo *in natura* de maior importância na economia mundial, sendo a mais explorada em vários países tropicais, constituindo-se na base alimentar e econômica de muitas dessas nações (Alves, 1999). O total exportado pelos países produtores no ano de 2001 foi de 14,2 milhões de toneladas, o que equivale a uma movimentação de US\$ 4,3 bilhões. Os principais exportadores são Equador, Filipinas, Costa Rica e Colômbia, que exportaram aproximadamente 24%, 15%, 13% e 11% do total mundial, respectivamente. A Índia, a China e o Brasil, apesar de serem grandes produtores, têm pouca participação no mercado internacional (FAO, 2002).

No Brasil, os cultivares 'Prata', 'Prata Anã', 'Maçã', 'Pacovan' e 'Terra', do grupo AAB, e 'Nanica', 'Nanicão' e 'Grande Naine', do grupo AAA, são os mais comercializados (ALVES, 1999). Todos, exceto o Terra, apresentam suscetibilidade à sigatoka-amarela, doença causada pelo fungo *Mycosphaerella musicola*, constatada no Brasil em 1944, e cujo controle é feito com a média anual de nove pulverizações fungicidas.

Em 1998, a partir do Município de Benjamin Constant, no Estado do Amazonas, instalou-se, no Brasil, a sigatoka-negra, causada pelo fungo *Mycosphaerella fijiensis*, cuja virulência é muito maior que a de *M. musicola*. Para o controle dessa nova doença são necessárias, em média, mais de 30 pulverizações anuais (CORDEIRO et al., 1998).

A EMBRAPA Mandioca e Fruticultura, por meio de seu programa de melhoramento, criou e introduziu vários materiais, principalmente tetraplóides, com resistência à sigatoca-negra e com boas características agrônômicas. Entretanto, alguns desses materiais despencam facilmente, reduzindo sua aceitação por produtores e consumidores (CORDEIRO et al., 1998).

COURSEY et al. (1976), BALDRY (1981) e NEW e MARRIOTT (1988) denominaram esse fenômeno como despencamento natural de frutos (“finger drop”) e o definiram como o amolecimento e enfraquecimento fisiológico do pedicelo, tendo como resultado a separação individual, com facilidade, dos frutos da coroa da penca. Essa ruptura do pedicelo está associada ao amadurecimento do fruto.

Segundo PAULL (1996), a suscetibilidade ao despencamento natural varia entre cultivares, sendo mais suscetíveis os tetraplóides (‘SH-3640’, ‘FHIA-18’, ‘Pioneira’ etc.) e muito resistentes os genótipos, a exemplo da banana ‘Terra’ (AAB), mesmo estando seus frutos maduros.

A aceitabilidade de bananas pelo consumidor é determinada mais pela aparência (coloração, tamanho, uniformidade de amadurecimento, ausência de doenças) que por indicadores de qualidade interna (doçura, teores de vitaminas, sais minerais e fibras) (BALDRY et al., 1981). Portanto, combinações atrativas de cor, textura, aroma e sabor determinam a aceitação do fruto pelo consumidor (PRABHA, 1998), já que a mudança de cor da casca de verde para amarelo e o amaciamento da polpa e da casca são indicativos de amadurecimento do fruto (MARRIOTT, 1980).

A comercialização de bananas é feita de acordo com padrões internacionais, ou seja, em pencas e, ou, buquês (JARAMILLO, 1987; CEREDA, 1984; SOTO, 1983). Ainda assim, segundo SEMPLE e THOMPSON (1988), pode haver uma separação individual dos frutos das pencas, gerando um dos maiores problemas na comercialização, pois, além de reduzir seu valor comercial e nutricional, contribui para que as perdas pós-colheita atinjam cerca de 40% da produção brasileira.

O processo de abscisão de órgãos ocorre em faixas específicas de células, chamadas camada de abscisão, que se torna morfológica e bioquimicamente diferenciada durante o desenvolvimento do órgão (ADDICOTT, 1982). O enfraquecimento das paredes celulares na camada de

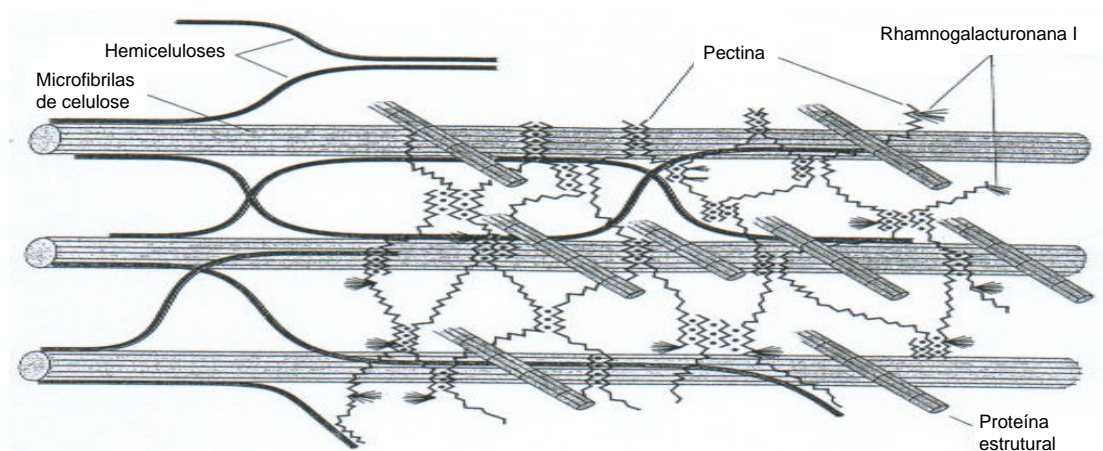
abscisão depende de sua degradação por enzimas, como celulase e poligalacturonase (TAIZ e ZEIGER, 1998). Entretanto, em estudos anatômicos realizados em pedicelo de bananas, PEREIRA (2002) não identificou a presença de camada ou zona de abscisão distintas.

Para SEYMOUR et al. (1993), o amolecimento da casca e da polpa do fruto se deve a mudanças que ocorrem nos componentes pécicos da parede celular e culmina na redução da força necessária para a ruptura do pedicelo.

As paredes celulares das frutas são compostas por duas camadas, a lamela média e a parede primária. Em geral, os frutos não apresentam parede celular secundária, ou seja, a parede celular não é lignificada. A lamela média é uma camada amorfa que ocorre entre as paredes primárias de células adjacentes, sendo a primeira camada a ser formada durante a divisão celular. A lamela média atua como um cimento celular, sendo a principal substância pécica, além de um pouco de calose (TAIZ e ZEIGER, 1998).

A parede celular primária é uma estrutura flexível capaz de crescer e expandir-se, mas é suficientemente rígida para dar à célula resistência e forma. Na maioria das plantas, a parede celular primária é composta de aproximadamente 25% de celulose, 25% de hemicelulose, 35% de pectina e 1 a 8% de proteínas (TAIZ e ZEIGER, 1998). Segundo LITZ (1997), as paredes celulares de frutas contêm relativamente mais pectina e menos hemicelulose.

Modelo de parede celular primária

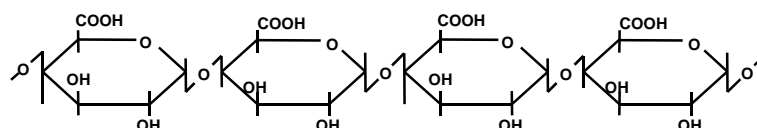


(Fonte: TAIZ e ZEIGER, 1998)

A celulose é um homopolímero linear formado por unidades de D-glicose unidas por ligações glicosídicas β -1,4. A celulose forma uma superfície microfibrilar que confere resistência mecânica às paredes celulares e está sempre associada a outros polissacarídeos, como hemiceluloses e pectinas. Todos os modelos de parede celular mostram que a superfície microfibrilar de celulose está associada a uma monocamada de hemicelulose ligada fortemente por pontes de hidrogênio. A hemicelulose é um grupo heterogêneo de polissacarídeos e é mais flexível que a celulose. Como está ligada a microfibrilas de celulose, não deixa que elas entrem em colapso. As principais hemiceluloses são: xiloglicana, xilana e glicomanana. A xilana é um polímero de monômeros de xilose unido por ligações β -1,4, podendo apresentar cadeias laterais de 4-ortometil β -ácido glucorônico e α -arabinose (TAIZ e ZEIGER, 1998; FISCHER e BENNETT, 1991). A presença da xilanase está relacionada com a hidrólise de polissacarídeos contendo xilose. A função principal da xilanase pode estar relacionada com a destruição da integridade das fibras de hemicelulose.

As pectinas são cadeias lineares formadas por aproximadamente 200 unidades de ácido galacturônico, unidas por ligações α -1,4. Esses polímeros desse ácido apresentam-se carregados negativamente, por isso, quando ligados por cátions, principalmente cálcio, formam géis altamente hidratados na parede celular. Além de funcionarem como preenchedora hidrofílica da parede, as pectinas evitam a agregação e o colapso da rede de celulose e também determinam a porosidade da parede celular a macromoléculas (TAIZ e ZEIGER, 1998; ALBERTS et al., 1994).

Estrutura da pectina



Sabe-se que o cálcio confere aumento de resistência e estabilidade às paredes celulares por se ligar a grupos $R-COO^-$ de ácidos poligalacturônicos (pectinas) constituintes da lamela média. A degradação dos pectatos de cálcio

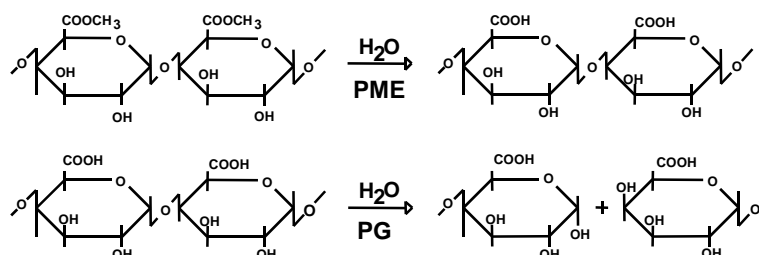
mediada por poligalacturonases é drasticamente inibida por altas concentrações de cálcio (MARSCHNER, 1995).

O número de esterificações determina a solubilidade da pectina. Quanto mais cálcio e metil ligados aos grupos $R-COO^-$, mais insolúvel é a pectina e, quanto mais grupos carboxílicos tiver a pectina, maior a solubilidade. As principais enzimas degradadoras de pectinas são a pectinametilesterase (PME) e a poligalacturonase (PG).

A função da PME é desesterificar a pectina, podendo esta se ligar ao cálcio ou outros íons de carga positiva. A PME quebra as ligações ésteres e deixa o ácido galacturônico livre, aumentando as ligações com o cálcio.

As PGs são as principais responsáveis pelo amaciamento, catalisando a hidrólise das cadeias de ácidos poligalacturônicos. Acredita-se que ela só possa atuar no metabolismo da parede em conjunção com a PME (TAIZ e ZEIGER, 1998; FISCHER e BENNETT, 1991).

Ação das enzimas PME e PG



SMITH et al. (1989) detectaram que a quantidade de pectina solubilizada na parede celular de bananas aumenta durante o amadurecimento, tanto na casca quanto na polpa.

Estudando o amolecimento em polpa de bananas do cultivar Giant Cavendish, KOJIMA et al. (1994) indicaram que a seqüência de eventos durante o amadurecimento de bananas é a seguinte: primeiro há a degradação dos polissacarídeos de hemicelulose, a partir daí a degradação da pectina e, em seguida, ocorre a quebra do amido.

Segundo MUSTAFFA et al. (1998), existem diferenças significativas entre tamanho, peso, cor da casca e textura e nas quantidades de sólidos solúveis totais, aminoácidos, amido e açúcares e no pH entre frutos de diferentes pencas, dentro da mesma penca e em diferentes partes do fruto de

um mesmo cacho. Embora a degradação de componentes da parede celular, como pectina (MARRIOTT,1980; WADE et al., 1992), hemicelulose (BARNELL, 1943; DESAI e DESHPANDE, 1978) e celulose (DESAI e DESHPANDE, 1978), durante o processo de amadurecimento dos frutos da bananeira tenha sido quantificada, principalmente na polpa, não é possível utilizar esses resultados para explicar o processo de despencamento natural dos frutos. Para a região do pedicelo, não foram encontrados trabalhos relacionando o metabolismo de carboidratos e atividade enzimática ao despencamento natural de frutos.

O presente trabalho teve como objetivos:

1. Caracterizar o comportamento dos componentes da parede celular, de amido e açúcares solúveis na região do pedicelo de duas variedades e um híbrido de bananas, resistentes e suscetíveis ao despencamento natural, durante o amadurecimento.
2. Determinar a atividade enzimática de poligalacturonase (PG), pectinametilesterase (PME) e xilanase na região do pedicelo de duas variedades e um híbrido de bananas, resistentes e suscetíveis ao despencamento natural, durante o amadurecimento.
3. Estabelecer a relação entre o comportamento dos componentes da parede celular e atividade enzimática e a suscetibilidade da banana ao despencamento natural.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material vegetal

Na presente pesquisa foram utilizados frutos de bananeiras (*Musa* spp.) dos genótipos triplóides 'Terra' (Plátano, AAB) e 'Prata' (Banana, AAB) e do híbrido tetraplóide SH-3640 (Banana, AAAB), considerados resistentes, medianamente resistentes e suscetíveis ao despencamento natural, respectivamente (PEREIRA, 2002).

Os frutos dos genótipos Prata e SH-3640 foram obtidos na Fazenda Experimental da Sementeira, pertencente à Universidade Federal de Viçosa e localizada no Município de Visconde do Rio Branco, Minas Gerais. Os cachos foram colhidos quando os frutos centrais da segunda penca apresentavam um estágio de desenvolvimento "3/4 natural", de acordo com a descrição de SOTO BALLESTERO (1992). Os frutos do 'Terra' foram adquiridos nas Centrais de Abastecimento de Minas Gerais S. A. (CEASA-MG), em Contagem, Minas Gerais.

2.2. Seleção e tratamento

Os cachos de 'Prata' e 'SH-3640' foram colhidos na parte da manhã e levados ao Laboratório de Análise de Frutas do Setor de Fruticultura do Departamento de Fitotecnia da UFV, onde foi realizado o despencamento,

selecionando-se as pencas de números 2, 3, 4 e 5, por serem as mais uniformes quanto ao aspecto e à idade fisiológica. Do 'Terra' foram selecionados os frutos homogêneos quanto ao tamanho e ao aspecto geral.

Os frutos selecionados foram imersos em solução aquosa de detergente 2% (v/v) por um período de 2 min, para limpeza e coagulação do látex, e enxaguados em água potável. Após o escoamento do excesso de água, foram acondicionados em caixas de plástico abertas e armazenadas em temperatura ambiente.

Para cada genótipo foram amostrados frutos nos estádios de coloração da casca 1, 3, 5, 6 e 7, conforme escala de cores descrita por DADZIE e ORCHARD (1996), em que 1 = fruto totalmente verde, 2 = fruto verde com traços de amarelo, 3 = fruto mais verde que amarelo, 4 = fruto mais amarelo que verde, 5 = fruto amarelo com pontas verdes, 6 = fruto totalmente amarelo e 7 = fruto amarelo com manchas castanhas (Figura 1).

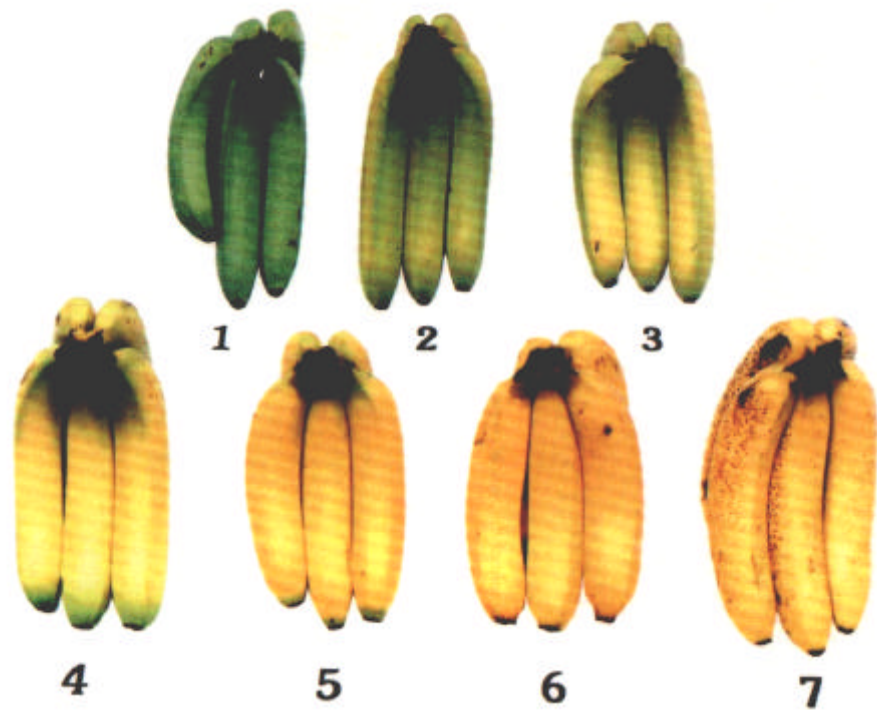


Figura 1 – Estádios de maturação de banana, relacionados com a mudança de cor da casca.

O experimento foi distribuído em parcelas subdivididas, com três parcelas (cultivares) e cinco subparcelas (estádios de coloração da casca), em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições e três frutos por unidade amostral. Para as análises enzimáticas, dentro de cada repetição fizeram-se quatro réplicas.

2.3. Características avaliadas

Para cada genótipo e estágio de amadurecimento foram utilizados três frutos, com vistas às análises físicas, químicas e enzimáticas.

Foram avaliadas as características resistência ao despencamento, consistência da polpa, teor de matéria seca, taxa respiratória, teores de amido, de açúcares solúveis totais e redutores, de pectina, de hemicelulose e de celulose e as atividades da pectinametilesterase (PME), da poligalacturonase (PG) e da xilanase.

Os teores de matéria seca, amido, açúcares solúveis totais e redutores, pectina, celulose e hemicelulose e a atividade enzimática foram analisados em amostras de pedicelos com cerca de 1 cm de comprimento, obtidos na região de despencamento natural dos frutos. Descartaram-se os resíduos de polpa (Figura 2).



Figura 2 – Obtenção de amostras de pedicelos para as análises físicas, químicas e enzimáticas.

2.3.1. Análises físicas

a) Resistência ao despencamento

A avaliação da resistência ao despencamento foi feita utilizando uma adaptação do “despencador mecanizado” descrito por CERQUEIRA (2000). O despencador consistiu de um chassi de madeira, um tracionador metálico, um penetrômetro tipo EFFEGI e uma alavanca metálica. O fruto foi fixado ao despencador e uma força de tração, aplicada ao pedicelo.

Quando o pedicelo se rompia próximo à região de início da polpa, cessava a pressão no penetrômetro, e a força necessária para sua ruptura era registrada (Figura 3). Os resultados foram expressos em Newtons (N).

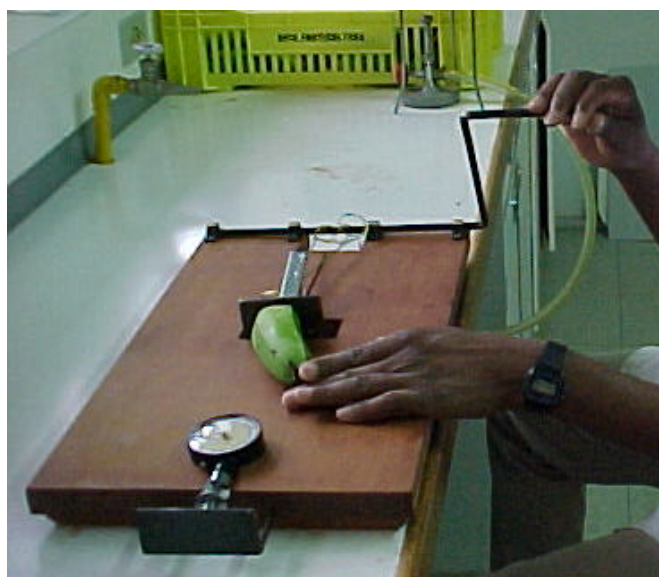


Figura 3 – Despencador manual de bananas.

b) Consistência da polpa

A consistência da polpa dos frutos foi determinada retirando-se uma porção da casca da região equatorial do fruto e expondo sua polpa à

penetração das ponteiros de um penetrômetro tipo EFFEGI, com diâmetros de 5/16" ou 7/16". Os resultados foram expressos em kPa (Figura 4).



Figura 4 – Avaliação da consistência da polpa de bananas.

c) Matéria seca

O teor de matéria seca dos pedicelos foi determinado por gravimetria, após a secagem das amostras em estufa com circulação forçada de ar a 70 °C até peso constante (aproximadamente por 24 horas) (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985).

d) Taxa respiratória

Para determinar a respiração, amostras de três frutos foram acondicionadas em frascos de vidro hermeticamente fechados e com

capacidade para 1.600 mL. De uma a três horas após o fechamento dos frascos, alíquotas de sua atmosfera foram injetadas em cromatógrafo a gás, com detector de condutividade térmica, equipado com uma coluna de alumínio preenchida com porapak Q. As condições de trabalho foram fluxo de gás de arraste (Hélio) de 40 mL. min⁻¹, corrente elétrica de 180 mA, temperaturas da coluna do detector e do injetor de 50, 70 e 80 °C, respectivamente, e temperatura ambiente de 20 a 23 °C. Sua quantificação foi pela comparação de alturas dos picos produzidos pela amostra no cromatograma com aqueles produzidos pela injeção de uma alíquota-padrão composta de 6,3% de CO₂. A taxa respiratória foi expressa em mg CO₂. kg⁻¹.h⁻¹.

2.3.2. Análises químicas

a) Análise de amido e de açúcares totais, não-redutores e redutores

Amostras de 5 g foram obtidas a partir dos pedicelos de três bananas, conforme descrição anterior. Essas foram inativadas com etanol 80% a quente e armazenadas em congelador a -20 °C até o momento das análises.

As amostras foram trituradas em homogeneizador de tecidos (Politron) com etanol 80% a quente e centrifugadas a 7.000 g, por 10 minutos. O precipitado foi extraído novamente e centrifugado por mais quatro vezes. Os sobrenadantes foram combinados e seus volumes, completados para 50 mL. Dez mililitros do extrato foram evaporados até secar, em evaporador rotativo a vácuo, a aproximadamente 45 °C e o resíduo, ressuspendido em 5 mL de água destilada, filtrado em papel-filtro Wattman nº 5, acondicionado em frascos de vidro e armazenado em congelador a -20 °C até o momento das análises. Do extrato filtrado, foram tomadas alíquotas para determinação dos açúcares solúveis totais, por reação com antrona (HOGDE e HOFREITER, 1962), e dos açúcares redutores, conforme metodologia descrita por SOMOGY (1952) e NELSON (1944). Os teores de açúcares não-redutores foram obtidos por diferença.

O resíduo das extrações alcoólicas foi ressuspendido com ácido perclórico 30%, por cinco vezes, com volumes de 8,0 mL por vez, permitindo-se um tempo de reação de 20 minutos na primeira extração e 30 nas demais, adicionando-se, sempre ao final da reação, 10 mL de água destilada. Após

cada extração, realizou-se uma centrifugação por 10 minutos a 7.000 g. Os sobrenadantes assim obtidos foram combinados em um balão de 100 mL, cujo volume foi completado com água destilada. Utilizaram-se alíquotas para a quantificação do amido pelo método de McCREADY et al. (1950), modificado por PATEL (1970).

b) Análises de pectina, hemicelulose e celulose

Para a quantificação das substâncias pécticas totais, adotou-se a metodologia descrita por MAGALHÃES (1991), com modificações. O precipitado da extração de amido foi desengordurado pela lavagem, por duas vezes, com éter de petróleo, seguido de centrifugação, a aproximadamente 1.200 g, por 15 min, sendo o sobrenadante etéreo descartado.

O precipitado foi submetido a uma solução extratora composta de ácido oxálico 0,25% (p/v) e oxalato de amônio 0,5% (p/v), na proporção de 20 vezes o volume da solução por grama de matéria fresca da amostra. A amostra permaneceu por uma hora em banho-maria a 75 °C, com agitação ocasional, sendo, a seguir, centrifugada por 12 minutos a 2.000 g. O precipitado foi, novamente, extraído e centrifugado por mais duas vezes, os sobrenadantes foram combinados e seus volumes, completados para 100 mL. Depois, a 20 mL desse extrato foram adicionados 60 mL de etanol:HCl (1.000:5), a fim de precipitar as substâncias pécticas. Após a filtração, o resíduo foi lavado com etanol e éter e secado em estufa a 70 °C, sendo as substâncias pécticas determinadas gravimetricamente.

O precipitado da extração do ácido oxálico e oxalato de amônio foi transferido para um erlenmeyer de 250 ml contendo NaOH 17,5%, que foi adicionado previamente, num volume aproximadamente 20 vezes maior que o peso de sua matéria seca (p/v). Logo após, o material foi agitado por 10 minutos, a fim de desfazer os agregados formados. Posteriormente, foi feito o borbulhamento na mistura com nitrogênio gasoso por três minutos, para remover o oxigênio do meio. Passadas 24 horas sob agitação, o material mais a solução foram centrifugados por 12 minutos a 2.000 g. O precipitado foi ressuspendido e centrifugado por mais duas vezes e os sobrenadantes, coletados, reunidos e neutralizados com ácido acético glacial, a uma temperatura aproximada de 0 °C. Etanol 95%, na proporção de três vezes com

relação ao volume dos sobrenadantes neutralizados, foi utilizado para precipitar as hemiceluloses totais, permanecendo a solução em repouso por 12 horas (REVILLA et al., 1988). Após a centrifugação por 12 minutos a 2.000 g, os sobrenadantes foram descartados e as hemiceluloses, lavadas sucessivamente com etanol, acetona e éter e secadas em estufa a 70 °C, sendo o peso da matéria seca determinado gravimetricamente.

O precipitado resultante da extração das hemiceluloses com NaOH 17,5% foi lavado com etanol, acetona e éter e posto a secar em estufa a 70 °C. Em seguida, o conteúdo foi pesado, incinerado a aproximadamente 600 °C por quatro horas e novamente pesado. A matéria seca de α -celulose foi obtida pela diferença de peso das amostras antes e depois da incineração.

2.3.3. Análise enzimática

O processo de extração das enzimas foi desenvolvido de acordo com HULTIN e LEVINE (1963) e PRIYA SHETHU et al. (1996), com algumas modificações. Todos os procedimentos ocorreram em temperaturas de 0 a 4 °C.

Nove gramas de amostra fresca de pedicelos, obtidos conforme a descrição anterior, foram triturados em homogeneizador de tecidos (Politron) por um minuto, com 54 mL de cloreto de sódio 2 M (solução extratora) mais 90 μ L de metabissulfito de sódio 35% (para evitar oxidações por compostos fenólicos), em banho de gelo. O macerado foi corrigido para pH 6,0 com solução 0,1 M de NaOH e homogeneizado em agitador magnético por uma hora, permanecendo em banho de gelo. Posteriormente foi também centrifugado por 30 minutos a 10.000 g a 4 °C. O sobrenadante (extrato enzimático) foi utilizado para a determinação das atividades de poligalacturonase (PG), pectinametilesterase (PME) e xilanase.

a) Atividade de poligalacturonase (PG)

A 30 microlitros do extrato enzimático foram acrescentados 370 μ L de tampão acetato de sódio 50 mM (pH 5,0) mais 100 μ L de ácido poligalacturônico 0,2% (pré-lavado com etanol 80%), perfazendo um total de 500 μ L. Essa mistura foi incubada por 12 horas a 37 °C (banho-maria). Após o

tempo de incubação foi adicionado 1 mL de ácido dinitrossalicílico (DNS) ao meio da reação, seguindo-se a imersão do mesmo em banho-maria fervente por 10 minutos. Após a adição de 5 mL de água destilada, determinou-se a absorvância a 540 nm (LUCHSINGER, 1962; PRESSEY e AVANTS, 1976).

Uma unidade (U) de atividade de poligalacturonase foi definida como micromol de ácido galacturônico produzido por minuto/grama de matéria fresca ($\mu\text{mol } \acute{\text{a}}\text{c. galactur\^o}\text{nico min}^{-1} / \text{g MF}$).

b) Atividade de pectinametilesterase (PME)

A 10 mL do extrato enzimático foram adicionados 30 mL de solução de pectina cítrica 1% em NaCl 0,2 M, em pH 7,5 (substrato). O meio de reação, acidificado pela ação da PME, foi titulado com NaOH 0,001 M por 10 minutos até pH 7,0, em temperatura ambiente, registrando-se o volume gasto de NaOH.

Uma unidade (U) de atividade de pectinametilesterase foi definida como micromol de ésteres hidrolisados por minuto/grama de matéria fresca ($\mu\text{mol de } \acute{\text{e}}\text{ster min}^{-1} / \text{g MF}$) (BRADY, 1976; HULTIN e LEVINE, 1965).

c) Atividade de xilanase

A atividade da xilanase foi feita de maneira semelhante à da PG, sendo que a 100 μL do extrato enzimático foram adicionados 100 μL de xilana 1% previamente lavada (com hidróxido de sódio 1 M, ácido clorídrico 1 M, completando seu volume para 100 mL com tampão acetato de sódio 100 mM e pH 5,0) constituindo-se o meio da reação. Após a incubação a 37 °C em banho-maria por quatro horas, foram adicionados 300 μL de DNS ao meio de reação, seguindo-se sua imersão em banho-maria fervente por cinco minutos. A seguir, foram adicionados 1.500 μL de água destilada ao meio, determinando-se, finalmente, a absorvância a 540 nm.

Uma unidade de atividade (U) de xilanase foi definida como micromol de glicose por minuto/grama de matéria fresca ($\mu\text{mol de glicose min}^{-1} / \text{g MF}$).

Um resumo dos procedimentos para análise enzimática é apresentado na Figura 5.

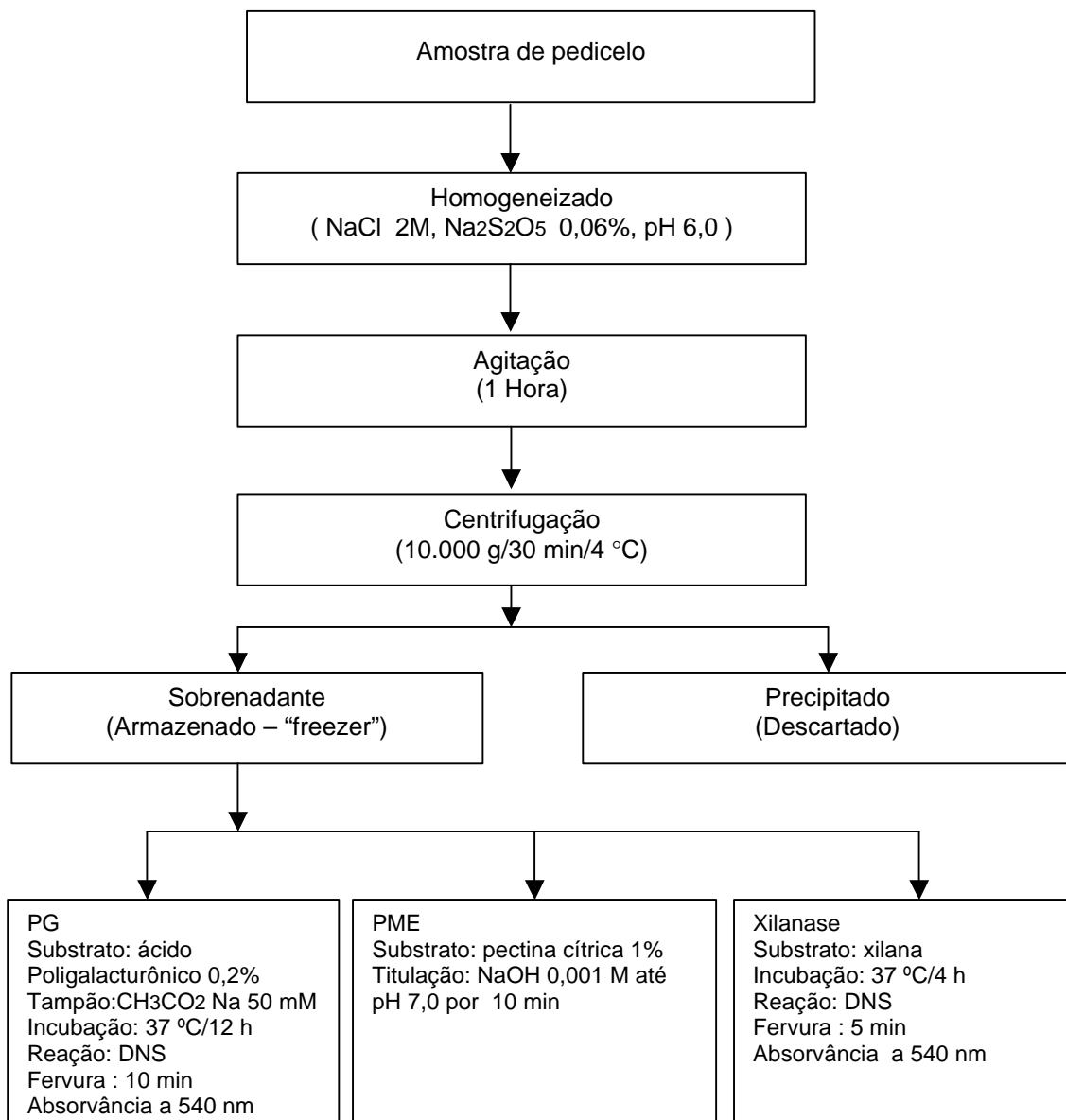


Figura 5 – Fluxograma de operações para as determinações das atividades enzimáticas em pedicelos de bananas.

Procedeu-se à análise estatística descritiva, sendo os resultados discutidos com base nas médias das observações acompanhadas dos respectivos desvios-padrão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análises físicas

3.1.1. Resistência ao despencamento

A partir do estágio 3, a resistência ao despencamento foi decrescente à medida que os frutos dos três genótipos amadureciam (Figura 6A). Até o estágio 3 (fruto com casca mais verde que amarela) para 'Prata' e 'SH-3640' e até o estágio 5 (fruto com casca amarela e extremidade verde) para 'Terra', a grande resistência ao despencamento apresentada pelos frutos dos três cultivares superou a capacidade de medição do equipamento utilizado, que foi de 127 N.

A partir do estágio 3, a resistência ao despencamento decresceu sensivelmente para 'Prata' e 'SH-3640', atingindo valores entre 11 N e 12 N no estágio 7 (fruto amarelo com manchas castanhas).

SEMPLE e THOMPSON (1988) também observaram que a resistência ao despencamento diminuiu sensivelmente em frutos do subgrupo Cavendish (*Musa*, grupo AAA), caindo de 113 N (no início do experimento, ou seja, fruto verde) para 3 N (após sete dias de armazenamento a 30 °C).

Para 'Terra', embora os valores decrescessem a partir do estágio 6 (fruto totalmente amarelo), a resistência ao despencamento se manteve em 85 N no estágio 7, permanecendo os frutos fortemente ligados à penca.

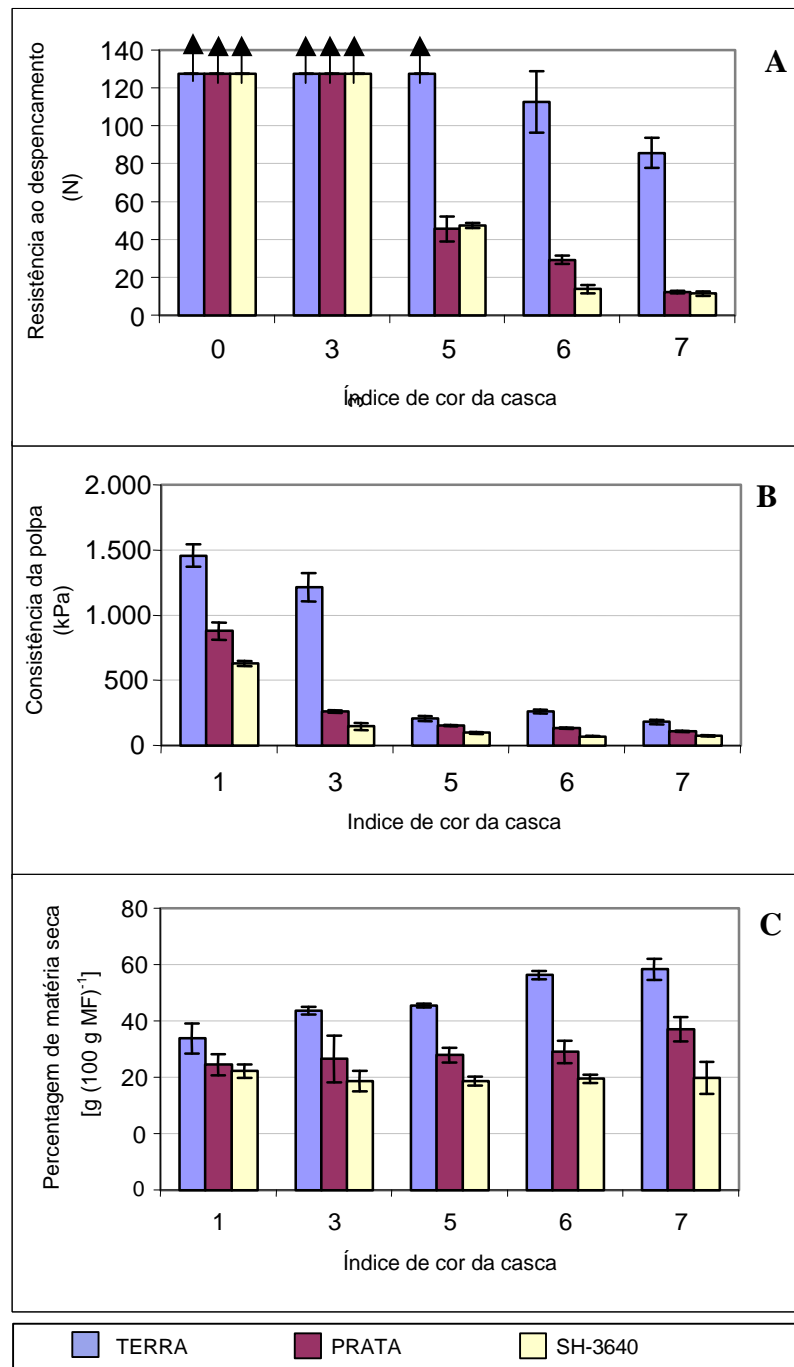


Figura 6 – Resistência ao despencamento (A), consistência da polpa (B) e percentagem de matéria seca (C) de pedicelo de bananas ‘Terra’, ‘Prata’ e ‘SH-3640’ em cinco estádios de amadurecimento (as barras sobre as colunas indicam o desvio-padrão; colunas com setas indicam que a resistência ao despencamento foi maior que a capacidade de medida do penetrômetro).

Esses dados confirmam as observações de PEREIRA (2002), que afirmou ser a resistência ao despencamento uma característica importante e desejável do ponto de vista agrônomo, uma vez que o consumidor tem preferência por frutos aderidos às pencas. A maior suscetibilidade ao despencamento dos frutos de 'SH-3640' provavelmente se deve ao fato de que, na região de despencamento do fruto maduro, o tecido parenquimático apresenta-se mais sensível, havendo degeneração de várias células, com formação de grandes espaços vazios, como observado no tetraplóide 'Pioneira', devido, provavelmente, à ação de enzimas. Ao contrário, nos cultivares resistentes, a exemplo de 'Terra', não ocorre essa degeneração das células (PEREIRA, 2002).

3.1.2. Consistência da polpa

Observou-se uma diferença de comportamento entre os cultivares quanto à consistência da polpa (Figura 6B). O genótipo 'Terra' apresentou maior consistência em todos os estádios de amadurecimento quando comparado com os genótipos Prata e SH-3640. Verificou-se também a ocorrência de queda brusca da consistência nos genótipos Prata e SH-3640 do terceiro estágio de amadurecimento em diante e do quinto para frente no cultivar 'Terra', fato que pode ser associado às atividades enzimáticas relacionadas com a degradação de componentes da parede celular e com a conversão de açúcares.

No genótipo SH-3640, a consistência da polpa se aproxima do mínimo no estágio de cor 3, portanto mais precocemente que nos demais genótipos. Mesmo para o fruto totalmente verde (estádio 1), verifica-se que a consistência da polpa em SH-3640 (627 kPa) é inferior à metade da consistência da terra (1.455 kPa). Em todos os cultivares, notou-se uma tendência de redução na consistência à medida que o fruto amadurecia, ou seja, a diminuição da consistência é diretamente proporcional ao avanço do amadurecimento do fruto. Essa perda de firmeza durante o amadurecimento coincide com o início da ascensão climatérica, que por sua vez também coincide com o início da mudança na coloração da casca (SALOMÃO, 1995).

Observou-se uma relativa independência entre o amadurecimento da casca e o da polpa com relação ao despencamento, para a banana 'Terra'. Apesar de a polpa ter-se amaciado rapidamente após a casca atingir o índice de cor 3 (Figura 6B), a resistência ao despencamento permaneceu elevada (Figura 6A).

Os resultados obtidos estão em conformidade com os de MUSTAFFA (1998), que, trabalhando com bananas do subgrupo Cavendish, verificou a existência de diferença significativa entre frutos colhidos em diferentes estádios de amadurecimento e em diferentes posições do fruto, indicando que na parte próxima à região de despencamento a consistência da polpa cai de aproximadamente 98,1 N (fruto verde) para menos de 29,43 N (fruto maduro), enquanto na parte média do fruto os valores caem de 107,91 N (fruto verde) para valores inferiores a 29,43 N (fruto maduro). Padrão similar de perda de firmeza foi encontrado em pêsego (LUTOM e HOLLAND, 1986) e manga (ABU-SARRA, 1992), devendo esse fenômeno estar possivelmente associado ao aumento na taxa de respiração e transpiração, produção de etileno e atividade enzimática na parede celular.

O genótipo 'Terra' no estágio 1 (fruto verde) apresentou consistência de 1.455 kPa, superando a média constatada por MUSTAFFA (1998), que foi de aproximadamente 1.150 kPa na banana Cavendish. A maior consistência do plátano 'Terra' também se deveu ao maior teor de amido desse tipo de fruto, tanto na polpa quanto na casca, quando comparado com as bananas propriamente ditas ('Prata' e 'SH-3640') (Figura 6B).

Segundo KOJIMA et al. (1994 e 1996) e DESAI e DESHPANDE (1978), o amido tem participação considerável na manutenção da estrutura celular de bananas e as hemiceluloses e pectinas são responsáveis pela firmeza da polpa. Segundo SEYMOUR et al. (1993), as mudanças que ocorrem nos componentes pécticos da parede celular primária e da lamela média são, provavelmente, a principal causa das mudanças na consistência, tanto da polpa quanto da casca de banana durante o amadurecimento.

A partir da Figura 6B, pode-se inferir que os frutos do genótipo 'Terra' podem permanecer armazenados com consistência mais firme por mais tempo que os cultivares 'Prata' e 'SH-3640'.

NEW e MARRIOT (1988) relataram que o amaciamento da fruta durante o amadurecimento está associado aos teores de água das células e da composição da parede celular. Durante o amadurecimento, a casca da banana perde massa muito mais rapidamente que a polpa, sendo isso um fator que acelera o processo de amaciamento dos frutos.

3.1.3. Percentagem de matéria seca do pedicelo

Notou-se diferença nos teores de matéria seca dos genótipos analisados (Figura 6C). O genótipo 'Terra' apresentou sempre os maiores teores, explicados pelas altas concentrações de amido, açúcares e pectinas (Figuras 7B, 8ABC e 9A). 'SH-3640', por sua vez, manteve sempre os mais baixos teores.

Quanto ao plátano 'Terra', com o decorrer do processo de maturação, a percentagem de matéria seca apresentou tendência de aumento até o estágio 7 de maturação. O genótipo 'Prata', semelhantemente ao que ocorreu com 'Terra', também apresentou tendência de aumento progressivo da percentagem de matéria seca no pedicelo à medida que ocorreu o amadurecimento. O contrário foi observado para 'SH-3640', que apresentou percentuais aproximadamente constantes nos diferentes estádios de maturação. Os aumentos nos teores de matéria seca deveram-se à sua concentração, uma vez que a casca se desidrata durante o amadurecimento, perdendo água tanto para o ambiente quanto para a polpa (SALOMÃO, 1995). Sintomas de murcha foram observados nos pedicelos dos frutos dos três genótipos avaliados.

Por ser um trabalho inédito, não foram encontrados trabalhos relacionados com as atividades enzimática e metabólica na região do pedicelo, por isso, a seguir, serão feitas algumas comparações com a casca do fruto devido às semelhanças estruturais e anatômicas existentes entre elas.

MARTIN-PRÉVEL (1983) mencionou que a casca perde água para a polpa devido à diferença de potencial osmótico e à transpiração durante o amadurecimento e que, nesse processo, o conteúdo de açúcares aumenta mais rapidamente na polpa que na casca. Segundo SALOMÃO (1995), esta perde muito mais água que o fruto como um todo durante o amadurecimento. De acordo com Gore Estrattom e Loesecke (1950), citados por SGARBIERI e FIGUEIREDO (1971), a água que migra para a polpa vem não só da casca,

mas também do engaçó, causando modificações nos percentuais de matéria seca.

O teor de matéria seca do pedicelo (Figura 6C) apresentou correlação direta com a consistência da polpa (Figura 6B). O maior teor de matéria seca no pedicelo do plátano 'Terra' é forte indicativo de que esse teor também seja maior na polpa, mantendo a consistência mais firme, mesmo no fruto maduro.

3.1.4. Taxa respiratória

Na Figura 7A, mostra-se que nenhum dos três genótipos estudados apresentou comportamento climatérico típico.

SALOMÃO (1995), trabalhando com bananas 'Mysore', demonstrou que a taxa respiratória acompanha a evolução da cor da casca, ou seja, casca totalmente verde indica fruto na fase pré-climatérica, a cor 6 coincide com o pico climatérico e a cor 7 com a fase pós-climatérica. No presente experimento, apenas o plátano 'Terra' se aproximou desse comportamento, embora a taxa respiratória ainda fosse ascendente no estágio de cor 7 (Figura 7A). Para as bananas 'Prata' e 'SH-3640', o pico respiratório foi atingido ainda no estágio de cor 3.

Nos três genótipos, o aumento da taxa de respiração coincidiu com a redução da consistência da polpa (Figura 6B).

De acordo com SIMMONDS (1966), o estágio de amadurecimento da polpa e a mudança de cor na casca estão intimamente relacionados com a respiração do fruto, ocorrendo na respiração quebra ou hidrólise de polissacarídeos em açúcares mais simples. Isso também foi corroborado por SALOMÃO (1995), que, trabalhando com banana 'Mysore', constatou que o início do climatérico respiratório ocorre paralelamente com a degradação de amido. No entanto, CHITARRA e LAJOLO (1985) mencionaram que esse comportamento varia com o cultivar, a exemplo da banana 'Marmelo', em que a ascensão climatérica da respiração precede o início da hidrólise do amido e da síntese de açúcares solúveis. Já GARCIA e LAJOLO (1988), em trabalhos realizados com bananas do subgrupo Cavendish, encontraram exatamente o contrário, ou melhor, com a subida climatérica ocorrendo justamente após o início da hidrólise do amido.

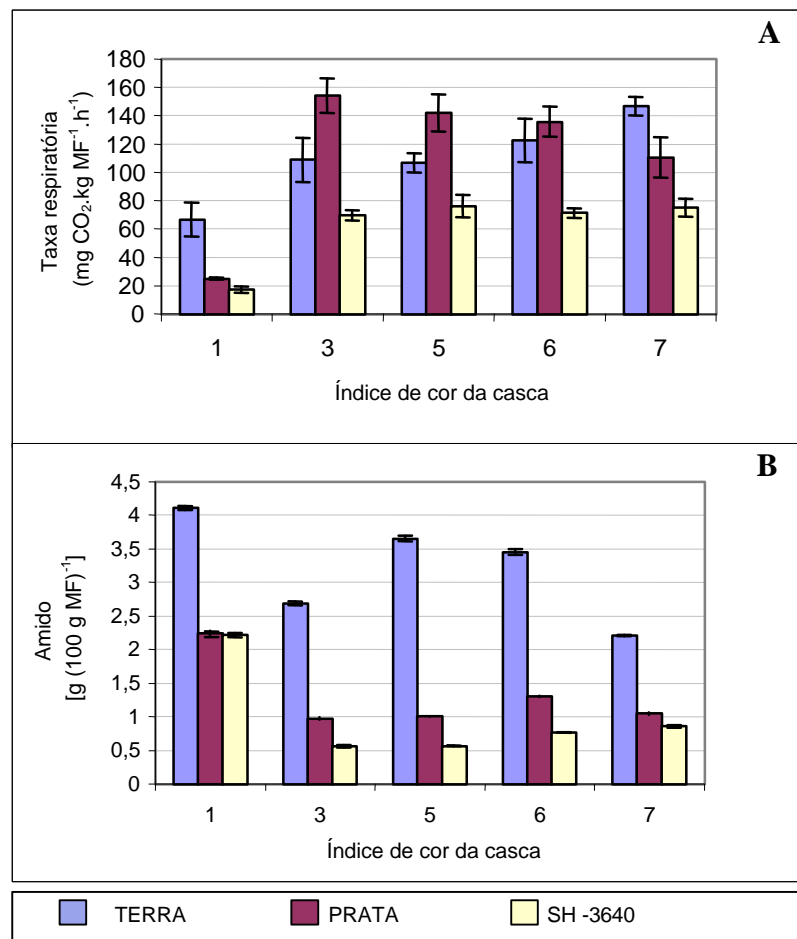


Figura 7 – Taxa respiratória (A) e teor de amido (B) em bananas ‘Terra’, ‘Prata’ e ‘SH-3640’ em cinco estádios de amadurecimento (as barras sobre as colunas indicam o desvio-padrão).

ARÊAS e LAJOLO (1981), em trabalhos realizados com banana *Musa acuminata*, observaram que as transformações de amido para sacarose se iniciam justamente após um aumento da taxa de respiração.

Em SH-3640, a taxa respiratória foi sempre inferior à dos demais genótipos, provavelmente refletindo a menor disponibilidade de substrato respiratório, como amido (Figura 7B) e açúcares (Figura 8).

3.2. Carboidratos não-estruturais

Os teores de amido na região de despencamento são apresentados na Figura 7B. Observou-se que no estágio 1 (fruto verde) todos os genótipos estudados tinham alto percentual de amido: 2,24%, 2,22% e 4,10% para 'Prata', 'SH-3640' e 'Terra', respectivamente. Em todos os estágios de amadurecimento, 'Terra' apresentou o dobro ou mais de amido do que 'Prata' e 'SH-3640'.

No genótipo Terra, à exceção do estágio 3, verificou-se que seus percentuais decresciam à medida que o fruto mudava sua coloração. Esse comportamento não ocorreu em 'Prata' e 'SH-3640', que a partir do estágio 3 apresentaram teores de amido relativamente estáveis, nas faixas de 0,97% a 1,30% e de 0,56% a 0,85%, respectivamente (Figura 7B).

Segundo NGALANI (1999), os teores de amido em polpa de banana e plátano variam amplamente em cada cultivar, dependendo de seu estágio de maturação. O plátano 'Popoulou CMR' contém 81,81% de amido na matéria seca no estágio 1 (verde) e a banana 'Grande Naine' 81,38%, caindo esses valores para 38,6% e 5,78% no estágio 5 (fruto amarelo com pontas verdes), respectivamente. Constatou-se, portanto, que o plátano 'Popoulou CMR' tem mais amido na polpa do que a banana 'Grande Naine' quando seus frutos estão maduros. Apesar de os resultados apresentados serem em polpa, observou-se o mesmo padrão na região de despencamento, ou seja, que o genótipo 'Terra' apresentou maior percentagem de amido que as bananas 'Prata' e 'SH-3640'.

MOTA et al. (1997), estudando sete genótipos de bananas, demonstraram que o amido em polpa madura não é totalmente degradado, encontrando valores de 0,9% para 'Nanica' e 'Nanicão', 1,2% e 1,6% para 'Ouro Colatina' e 'Mysore' e 2,5%, 5,2% e 7,1% para 'Prata Anã', 'Prata Comum' e

'Ouro da Mata'. Isso indica que em banana verde há predominância de grânulos de amido maiores e que estes parecem ser muito resistentes à degradação pela ação de enzimas (amilases). Tal fato, provavelmente, esteja relacionado com a existência de amido em banana 'Nanica', mesmo em polpa madura, sendo esse resíduo de amido constituído principalmente de grânulos pequenos (menos de 10 µm de diâmetro) (GARCIA, 1983). É muito provável que isso também esteja acontecendo na região de despencamento com os genótipos estudados, em especial com 'Terra', que, mesmo estando maduro, apresentou porcentagem de amido de 2,4%. Devido aos elevados teores existentes em bananas, também é atribuída ao amido uma função estrutural (KOJIMA, 1996). Portanto, os teores elevados encontrados no plátano 'Terra' podem ser um dos fatores que contribuíram para a manutenção da rigidez celular e para dificultar o despencamento natural.

Em todos os cultivares estudados, observou-se a presença de maior teor de amido nos frutos verdes. Segundo SALOMÃO (1995), os teores de amido em banana 'Mysore' representam cerca de 5% do peso da matéria fresca da casca, sendo este degradado rapidamente durante o amadurecimento, caindo para porcentagens inferiores a 1% e acumulando açúcares solúveis (sacarose, glicose e frutose).

As transformações qualitativas e quantitativas sofridas pelos carboidratos são mais evidentes durante o amadurecimento da banana, em particular entre os estádios 5 e 7. Quando a fruta apresenta na região de despencamento a cor verde, o carboidrato predominante é o amido, que vai se convertendo em açúcares mais simples, à medida que o fruto amadurece (SGARBIERI e FIGUEIREDO, 1971).

Ao contrário do que ocorre no amido, com relação aos açúcares solúveis, tanto totais como não-redutores e redutores, a tendência é de aumento contínuo e progressivo, à medida que a região de despencamento muda da cor verde para a amarela (Figura 8).

Semelhantemente ao observado com relação ao amido, no genótipo 'Terra', a partir do terceiro estágio os teores de açúcares não-redutores são superiores aos dos demais genótipos, passando de 0,35% no fruto verde (estádio 1) para 3,34% no fruto maduro (estádio 7). Nos genótipos 'Prata' e 'SH-3640', os percentuais de 0,61% e 0,51% no fruto verde passam para 0,96% e 0,82% no maduro, respectivamente.

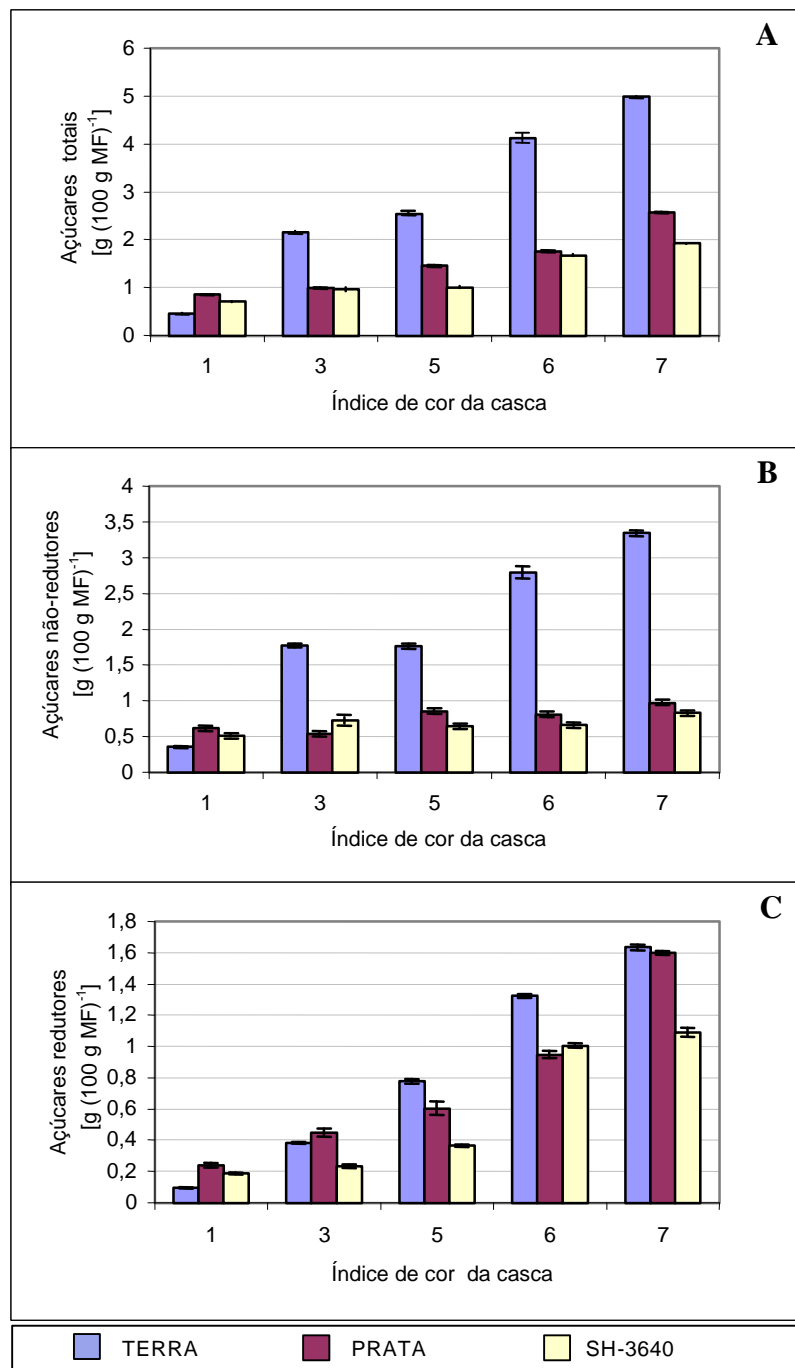


Figura 8 – Teores de açúcares solúveis totais (A), açúcares não-redutores (B) e açúcares redutores (C) em pedicelos de bananas ‘Terra’, ‘Prata’ e ‘SH-3640’ em cinco estádios de amadurecimento (as barras sobre as colunas indicam o desvio-padrão).

Os padrões de variação nos teores de açúcares, entre os cultivares estudados, são concordantes com a descrição de MARRIOT et al. (1981), indicando ser a hidrólise de amido mais lenta em banana destinada ao consumo *in natura* como 'Prata' e 'SH-3640' que em banana de cocção (plátano), como é o caso de 'Terra'.

Os dados obtidos neste trabalho estão em concordância com aqueles obtidos por KOJIMA (1994), que observou que os açúcares são acumulados nos frutos à medida que estes amadurecem, correlacionando-se negativamente com a consistência da casca e polpa. Possivelmente, esse fato ocorre na região do despencamento, seguindo-se o mesmo padrão.

Os valores encontrados nesta pesquisa para frutos apresentando cor amarela concordam com os obtidos por SALOMÃO (1995), que indicou haver até os 15 dias após a colheita aproximadamente 5% de açúcares solúveis totais em casca de banana da variedade Mysore.

ARÊAS e LAJOLO (1981), em estudos realizados em polpa de banana 'Nanica', verificaram 22% de amido, 0,2% de sacarose, 0,01% de glicose e 0,01% de frutose no fruto verde, passando essa percentagem para praticamente zero, 11,5%, 4,0% e 4,5%, respectivamente, no fruto maduro. Esses autores também observaram que o incremento no conteúdo de sacarose foi simultâneo à degradação de amido e que essas transformações precedem a formação de glicose e frutose, sendo provavelmente a transformação de amido em sacarose o principal caminho para a degradação de amido durante o amadurecimento.

Outros estudos realizados por TERRA (1981), em polpa de banana (*Musa acuminata* cv. *Cavendish*), indicam que a porcentagem de amido sofreu uma queda de 28,4% no estágio pré-climatérico para 16% no início do pico climatérico, sendo acompanhada de aumento nos teores de açúcares solúveis, com predominância de sacarose sobre glicose e frutose.

Neste experimento, realizado na região de despencamento, esse padrão foi observado só para o genótipo 'Terra', em que os teores de açúcares não-redutores são maiores que as dos redutores, mesmo do estágio 1 até o estágio 7. O genótipo 'Prata' e 'SH-3640' não apresentaram esse padrão, tendo sido os teores de açúcares redutores mais altos que os de não-redutores (Figura 8).

3.3. Pectinas

As mudanças associadas à consistência ou textura da casca e do fruto estão principalmente relacionadas com a degradação de substâncias pécticas.

De acordo com a Figura 9A, pode-se verificar que o comportamento da pectina é semelhante ao que ocorre com o amido, ou seja, tendência de queda à medida que o fruto amadurece, sendo essa tendência mais marcante no plátano 'Terra', em que a pectina se reduziu de 2,13% para 0,47%, do estágio de cor 1 para o 7. O plátano 'Terra' também apresentou os maiores teores de pectina, seguido de 'Prata' e 'SH-3640'. Esse comportamento de queda das pectinas já era esperado, pois das alterações mais evidentes que ocorrem na composição da parede celular, que acompanham o amaciamento dos frutos, a redução dos teores das pectinas é uma delas (LABAVITCH, 1981).

As pectinas são constituídas de cadeias de ácido galacturônico, que são reduzidas de tamanho pela ação da enzima poligalacturonase, tornando-as mais solúveis.

No genótipo 'Terra', parece haver grande despolimerização das pectinas, como evidenciado pela redução no teor desse componente (Figura 9A) e pelo grande aumento nos açúcares solúveis (Figura 8). Esse aumento no teor de açúcares não pode ser explicado apenas pela degradação de amido (Figura 7B). Entretanto, nos demais genótipos, em que a redução do teor de pectinas não é tão marcante, o aumento da suscetibilidade ao despencamento à medida que o fruto amadurece parece ser causado pela solubilização das pectinas sem que esse fato seja acompanhado de sua marcante despolimerização. Por isso, os teores de pectinas nesses genótipos não se reduziram na mesma proporção que na 'Terra'.

O aumento da atividade da PG nos três genótipos, como será apresentado na Figura 10A, é um bom indicativo disso.

3.4. Hemicelulose e celulose

Os valores de hemicelulose e celulose foram somados e apresentados na Figura 9B.

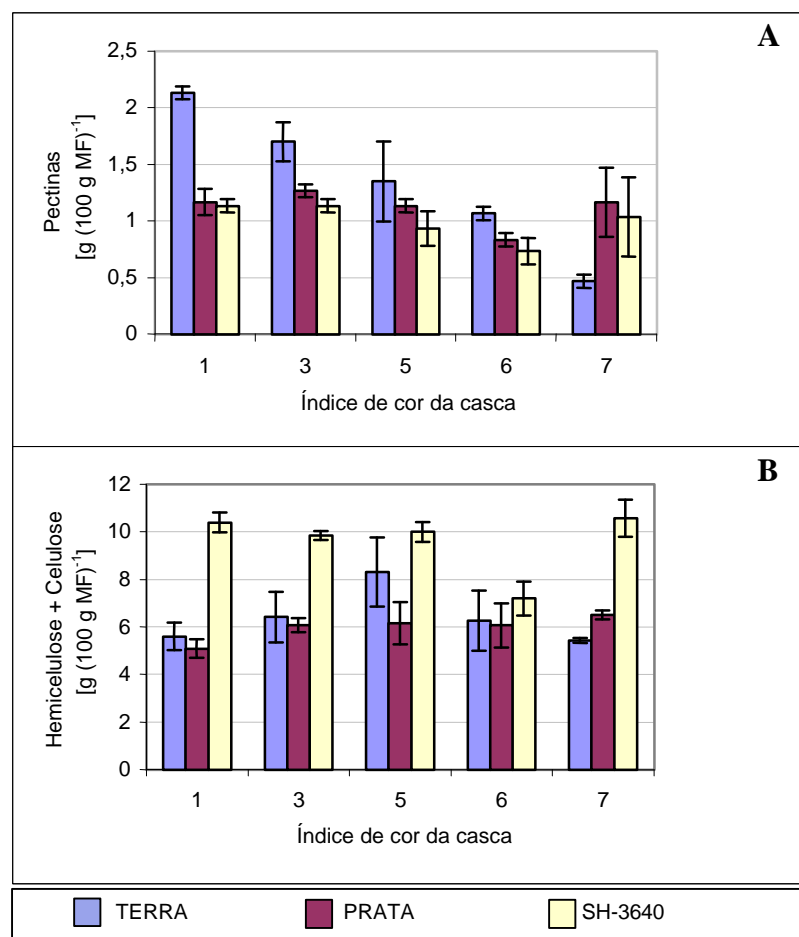


Figura 9 – Teores de pectinas (A) e hemicelulose mais celulose (B) em pedicelos de bananas ‘Terra’, ‘Prata’ e ‘SH-3640’ em cinco estádios de amadurecimento (as barras sobre as colunas indicam os desvios-padrão).

Nessa figura, observa-se que o genótipo 'SH-3640' apresentou os maiores teores de hemicelulose e celulose em todos os seus estádios de amadurecimento, em comparação com os outros dois genótipos estudados, sendo esse valor (aproximadamente 10%) mantido quase constante em todos os estádios de amadurecimento, com exceção do estágio 6 (aproximadamente 7%). Também, em 'Prata', esses teores mantiveram-se estáveis em torno de 6%.

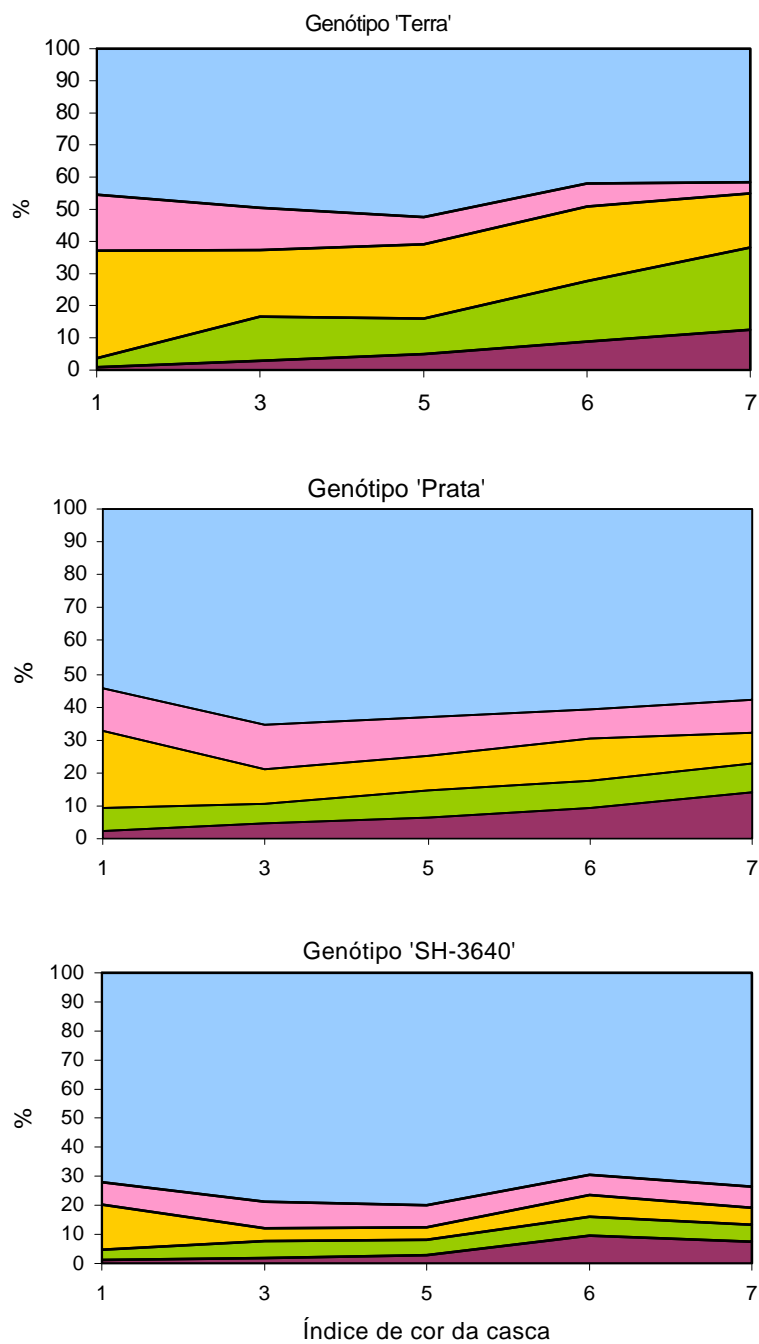
No plátano Terra, os teores de hemicelulose e celulose aumentaram até o estágio de cor 5 e depois reduziram.

FISHER e BENNETT (1991) e KNEE e BARTLEY (1981), em estudos realizados com vários frutos, detectaram que a quantidade de hemicelulose praticamente não se altera durante a maturação. No amadurecimento, entretanto, há uma drástica redução do tamanho de polímeros, notadamente na fração ligada às fibrilas de celulose.

Estudos realizados por BRADY (1987), BENNETT e DELLAPENNA (1987) e HUBER (1983) indicaram que as hemiceluloses não são determinantes no despencamento de bananas. PEREIRA (2002), no entanto, constatou que a resistência ao despencamento no caso dos cultivares 'Butuhan' e 'Terra' deve-se, provavelmente, ao fato de que esses cultivares apresentam fibras mais finas, mais compridas e agrupadas, sendo a espessura da parede celular maior, conferindo aos frutos desses materiais, mesmo maduros, maior resistência ao despencamento.

KOJIMA et al. (1994ab) mencionaram que, em polpa de bananas 'Giant Cavendish' e em plátanos tipo 'Tundoc', os teores de celulose são constantes ao longo de seu amadurecimento (aproximadamente de 2 mg/g MF, para ambos os genótipos). Portanto, nesses genótipos a celulose não está envolvida no amaciamento de polpa durante o amadurecimento. Outras pesquisas realizadas por AHRENS e HUBER (1990) com tomate, HINTON e PRESSEY (1974) com pêssigo e PESIS et al. (1978) com abacate atestaram que a celulose está envolvida no amaciamento do fruto.

Igualando a 100% o total das frações dos carboidratos estruturais (celulose, hemicelulose e pectina) e não-estruturais (amido, açúcares solúveis redutores e não-redutores), observa-se, na Figura 10, que no estágio 1 (fruto verde) os genótipos 'SH-3640' e 'Prata' apresentaram aproximadamente 80% e 70% de carboidratos estruturais, que se mantêm relativamente constantes durante o amadurecimento.



■ Ác. red. ■ Ác. não-red. ■ Amido ■ Pectina ■ Hem. + Celulose

Figura 10 – Frações de carboidratos, com relação ao total, em pedicelo de bananas 'Terra', 'Prata' e 'SH-3640' em cinco estádios de amadurecimento.

O genótipo 'Terra' exibiu variações mais evidentes quando comparado com os demais. No fruto verde, os carboidratos estruturais representaram pouco mais de 60% do total, mas sua participação caiu para cerca de 45% no fruto maduro. Isso é justificado pela manutenção de elevado teor de amido e pelo aumento da fração de açúcares não-redutores, resultantes da degradação de amido e pectinas. Tais resultados concordam com os encontrados por ARÊAS e LAJOLO (1981), indicando que as porcentagens de sacarose são incrementadas durante a degradação de amido ao longo do amadurecimento da banana. O amido, desempenhando função estrutural, provavelmente contribuiu para manter rígidas as paredes celulares e ajudar o fruto a se manter ligado ao pedicelo.

Além da hemicelulose e celulose, o amido e as substâncias pécticas são os carboidratos predominantes no estágio 1 de amadurecimento (fruto verde), e os açúcares solúveis ainda são pouco expressivos. Assim, ao passar para o índice de cores 6 e 7 (fruto amarelo e fruto amarelo com manchas castanhas), os teores de açúcares aumentaram.

3.5. Atividade enzimática

3.5.1. Poligalacturonase

Quando a região de despencamento se apresentava ainda de cor verde, a atividade da enzima poligalacturonase (PG) em todos os cultivares era baixa em comparação com os demais estádios de amadurecimento, apresentando valores de 0,3; 0,1; e 0,07 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{g}$ para 'Terra', 'Prata' e 'SH-3640', respectivamente (Figura 11A).

A partir do estágio 3, a atividade da PG aumentou progressivamente, apresentando, porém, diferenças entre os genótipos. O plátano 'Terra' sempre mostrou maior atividade de PG, e essa atividade triplicou desde o fruto verde (estádio 1) até completamente amarelo (estádio 6). Esse aumento de atividade coincidiu com a redução do teor de pectinas (Figura 9A) e com a diminuição da força necessária ao despencamento (Figura 6A). Isso indica que a PG tem papel fundamental no despencamento da banana 'Terra'. Nos demais genótipos, o comportamento foi semelhante, sendo na 'SH-3640' o aumento da atividade de PG de cerca de 10 vezes.

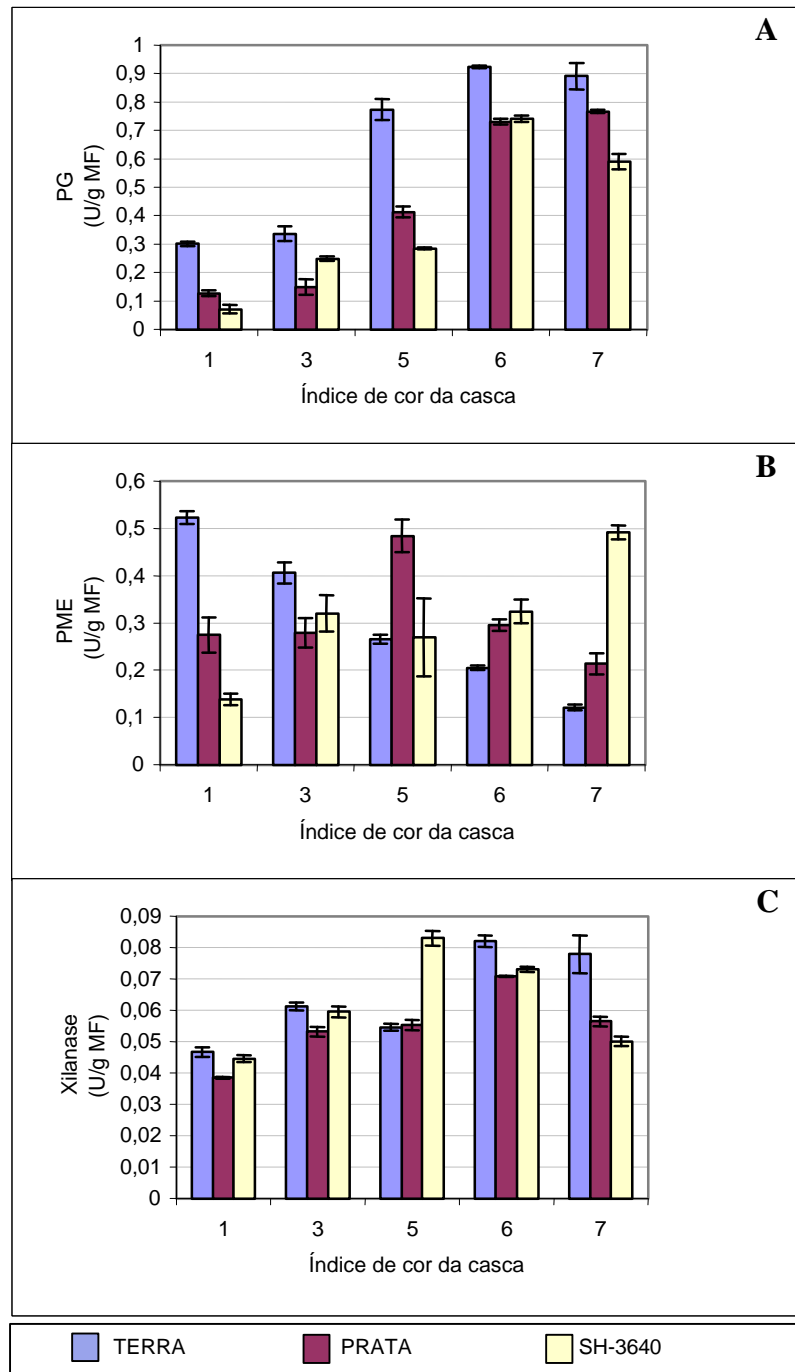


Figura 11 – Atividade de poligalacturonase (A), pectinametilesterase (B) e xilanase (C) em pedicelos de bananas ‘Terra’, ‘Prata’ e ‘SH-3640’ em cinco estádios de amadurecimento (as barras sobre as colunas indicam os desvios-padrão).

A atividade da PG no genótipo 'Prata' aumentou sucessivamente em todos os estádios de amadurecimento. Entretanto, tanto na 'Prata' quanto na 'SH-3640', não se notou redução tão significativa na concentração de pectina. Como se discutiu anteriormente, a solubilização de pectinas não implica necessariamente sua degradação, mas sim na diminuição do tamanho das cadeias de ácido poligalacturônico. Isso pode acontecer mesmo sem redução significativa da concentração de pectinas. Portanto, a alta atividade de PG nos estádios finais do amadurecimento indica que a solubilização de pectinas está ocorrendo e evidencia diferença no padrão de ataque da enzima entre o plátano 'Terra' e os demais genótipos.

PATHAK e SANWAL (1998) relataram que a atividade de PG foi ausente em polpa de frutos no estágio 1, porém detectada a partir do segundo estágio de amadurecimento. A atividade aumentou com o amadurecimento e, depois, declinou à medida que o fruto começou a senescer, fato que coincide com os dados encontrados, neste experimento, na região de despencamento.

3.5.2. Pectinametilesterase (PME)

A atividade da PME não manteve o mesmo padrão nos três genótipos, havendo no cultivar Terra uma tendência de baixar sua atividade à medida que a região de despencamento sofria alterações na coloração. Na 'Prata', a atividade aumentou até o estágio 5, onde atingiu seu máximo, coincidindo sua queda com as mudanças nos componentes da parede celular, que ocorrem na região de despencamento (Figura 11B).

Na 'SH-3640', observou-se um aumento brusco de atividade ao passar do estágio 1 para o estágio 3 de amadurecimento, para daí em diante manter-se quase constante até o estágio 6 e voltar a aumentar no estágio 7.

Para o genótipo Terra, a atividade de PME é muito alta no estágio 1, quando o fruto ainda é verde e apresenta resistência ao despencamento, além de exibir valores muito elevados de consistência, sendo estes maiores que os apresentados por 'SH-3640' e 'Prata' nesse mesmo estágio. Tais resultados podem ser comparados com os de HULTIN e LEVINE (1965), que, trabalhando com banana 'Gros Michel', detectaram três formas de pectinametilesterase, que diferiam no modo de extração, de acordo com o pH e a concentração de

cloreto de sódio. A atividade dessas enzimas variou durante os estádios de amadurecimento. DE-SWARDT e MAXIE (1967), pesquisando o mesmo genótipo, porém não controlando a ação dos compostos fenólicos, observaram que a banana em pré-climatério não apresentou atividade de PME, no entanto, após a subida climatérica, a atividade da enzima chegou a $6 \mu\text{Mol min}^{-1}/\text{g MF}$. Esses valores foram incrementados à medida que a atividade respiratória chegava ao máximo ($28 \mu\text{mol min}^{-1}/\text{g MF}$). BRADY (1976) afirmou que a máxima atividade de PME é dependente da concentração de cloreto de sódio e do pH da solução, sendo influenciada ainda pela presença de cátions, especialmente cálcio e magnésio, que atuam aumentando sua atividade em baixas concentrações.

REXOVA-BENKOVA e MARKOVIC et al. (1976), PRESSEY (1977) e HUBER (1983) relataram que a atividade da PME precede a da PG no sentido de facilitar a atividade desta última pela desesterificação da pectina. De acordo com esses autores, a PG teria maior afinidade pelo substrato linear desesterificado, após a atuação de PME, cuja atividade é dependente do genótipo, indicando que há uma correlação da atividade com a disponibilidade de substrato para que a PG possa atuar, como mostrado na Figura 11A. Na Figura 11B, a alta atividade de PME no plátano 'Terra' nos estádios iniciais do amadurecimento predispõe a pectina para o ataque de PG, resultando na intensa degradação de pectina verificada na Figura 9A. Nos demais genótipos, a menor atividade de PME no início do amadurecimento limitou a disponibilidade de pectina para a degradação pela PG, fazendo que houvesse solubilização de pectina, sem uma hidrólise muito intensa, como discutido anteriormente.

3.5.3. Xilanase

Observou-se alteração da atividade de xilanase nos três genótipos durante o amadurecimento (Figura 11C).

O cultivar 'Prata', de modo semelhante ao que ocorreu com 'Terra', apresentou uma tendência progressiva de aumento da atividade da enzima xilanase, à medida que o fruto mudava de coloração. Contudo, quando ele atingiu o estágio 7, a xilanase teve tendência de queda em sua atividade. O

genótipo SH-3640 mostrou esse incremento até o estágio 5, a partir do qual a atividade decresceu.

Na Figura 11C, pode-se observar que o genótipo SH-3640 teve elevada atividade de xilanase no estágio 6, coincidindo com a redução da concentração de hemicelulose e celulose. Como a hemicelulose dá estabilidade à rede de fibras de celulose, é provável que no 'SH-3640' a xilanase tenha um papel importante no despençamento.

A atividade da xilanase está relacionada com a degradação de polissacarídeos (hemicelulose) constituintes da parede celular, e, por essa razão, acredita-se que sua atividade favoreça a atividade de outras enzimas, cujas funções estejam ligadas à hidrólise dos componentes da parede celular (WONG et al., 1988).

A xilana é uma das principais hemiceluloses, e sua degradação pela xilanase tem como consequência a desestruturação da rede fibrilar de celulose, levando ao aumento do despençamento, a exemplo do que ocorre com o genótipo SH-3640.

4. CONCLUSÕES

Diante dos resultados do presente estudo, pôde-se concluir o que se segue:

1. A PG é a enzima chave na solubilização da parede celular que acompanha o amadurecimento, sendo sua atividade relacionada positivamente com susceptibilidade ao despencamento. No genótipo 'Terra', a ação sincronizada de PME e PG levou a uma intensa hidrólise de pectinas, que caiu de 2,13% para 0,47%. Ao contrário, na 'Prata' e na 'SH-3640' a redução da força necessária para o despencamento foi resultado de solubilização de pectinas, sem a concomitante degradação das mesmas. Na 'Terra', a degradação tanto de pectina quanto de amido resultou em grande aumento na concentração de açúcares solúveis não-redutores no fruto maduro.
2. O plátano 'Terra' manteve mais de 2% de amido no pedicelo do fruto maduro, o que contribuiu para manter a estrutura celular e alta resistência ao despencamento.
3. A alta suscetibilidade do genótipo SH-3640 ao despencamento está associada à alta atividade de PG e PME e ao baixo teor de matéria seca no pedicelo.
4. A maior resistência ao despencamento está relacionada ao maior acúmulo de matéria seca e amido no pedicelo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABU-SARRA, A. F.; ABU-GOUKH, A. A. Changes in pectinesterase, polygalacturonase and cellulase activity during mango fruit ripening. **J. Hort. Sci.**, v.67, p.561-8, 1992.
- ADDICOTT, F.T. **Abscission**. Los Angeles: University of California Press, 1982. 369 p.
- AHRENS, M.J.; HUBER, D.J. Physiology and firmness determination of ripening tomato fruit. **Physiol. Plant.**, v.78, p.8-14, 1990.
- ALBERTS, B.; BRAY, D.; LEWIS, J.; RALF, M.; ROBERTS, K.; WATSON, J.D. **Molecular Biology of the Cell**. 3. ed. New York: Garland, 1994. 1294 p.
- ALVES, E.J. **A cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais**. 2. ed. Brasília: Embrapa-SPI/Cruz das Almas; Embrapa-CNPMF, 1999. 585 p.
- ARÊAS, J.A.G.; LAJOLO, F.M. Starch transformation during banana ripening: I- The phosphorylase and phosphatase behavior in *Musa acuminata*. **J. Food Biochem.**, v. 5, p.19-37, 1981.
- BALDRY, J.; COURSEY, D. G.; HOWARD, G. E. The comparative consumer acceptability of triploid and tetraploid bananas fruit. **Trop. Sci.**, v.23, p.33-66, 1981.
- BARNELL, H. R. Studies in tropical fruits. XV. Hemicellulose metabolism of the banana fruit during storage and ripening. **Ann. Bot.**, v.28, n.7, p.293-323, 1943.

- BENNETT, A.B.; DELLAPENNA, D. Polygalacturonase gene expression in ripening tomato fruit. In: Nevins, D.; Jones, R. (Eds.). **Tomato biotechnology**. New York: Alain R. Liss, 1987. p.299-308.
- BRADY, C.J. Fruit ripening. **Ann. Rev. Plant Physiol.**, v. 38, p. 155-78, 1987.
- BRADY, C.J. The pectinesterase of the pulp of the banana fruit. **Austr. J. of Plant Physiol.**, v.3, p.163-72, 1976.
- CEREDA, E. Colheita de banana. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE BANANICULTURA, 1, 1984, Jaboticabal. **Anais**. Jaboticabal, SP: FCAVJ, 1984. p.346-67.
- CERQUEIRA, R.C. **Avaliação de características pós-colheita de genótipos de bananeira (*Musa spp*)**. Cruz das Almas, BA: UFBA, 2000. 60 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas.
- COURSEY, D. G.; MARRIOTT, J.; NEWS, S. Experimental parameters of fruit quality in new banana cultivars. In: INT. CONGR. FOOD SCI. TECHNOL., 4., 1974, Madrid. **Proceedings...** Madrid: [s.n.], 1976. v.2, p.70-9.
- CORDEIRO, Z.J.M.; PIRES DE MATO, A.; SILVA, O.S. Black sigatoka confirmed in Brazil. **Infomusa**, v.7, n.1, p.31-2, 1998.
- CHITARRA, A.B.; LAJOLO, F.M. Mudanças fisiológicas e químicas pós-colheita da banana Marmelo em diferentes temperaturas. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.20, p.561-73, 1985.
- DADZIE, B.K.; ORCHARD, J.E. **Evaluación rutinaria postcosecha de híbridos de bananos y plátanos: Criterios y métodos**. Roma: IPGRI; Montpellier: INIBAP, 1996. 63 p. (Guias técnicas Inibap, 2).
- DESAI, B. B.; DESHPANDE, P. B. Chemical control of ripening in banana. **Physiol. Plant.**, v.44, p.238-40, 1978.
- DE SWARDT, G.H.; MAXIE, E.C. Pectin Methylesterase in the ripening banana. **S. Afr. J. Agric. Sci.**, v.10, p.501-6, 1967.
- FAO. **FAOSTAT Database results** [2002]. Disponível em: <[http://apps.fao.org/page/form?Collection=production.crops. Primary & Domain = production & serule = 1& language = ES & hostname= apps.fao.org&version=default](http://apps.fao.org/page/form?Collection=production.crops.Primary%20&Domain=production%20&serule=1&language=ES&hostname=apps.fao.org&version=default)>. Acesso: fev. 2003.
- FISCHER, R. L.; BENNETT, A. B. Role of cell wall hydrolases in fruit ripening. **Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.**, v.42, p.675-703, 1991.
- GARCIA, E.; LAJOLO, F.M. Starch transformation during banana ripening: The amylase and glucosidase behavior. **J. Food Sci.**, v.53, p.1181-6, 1988.

- GARCIA, E. **Transformações do amiloplasto e participação de enzimas amilolíticas no amadurecimento da banana.** São Paulo: USP, 1983. 72 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- HINTOM, D.M.; PRESSEY, R. Cellulase activity in peaches during ripening. **J. Food Sci.**, v.39, p.783-5, 1974.
- HOGDE, 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, 1962. v.1, p.380-94.
- HUBER, D.J. Polyuronide degradation and hemicelulose modifications in ripening tomato fruit. **J. Am. Soc. Hort. Sci.**, v.108, n.3, p.405-9, 1983.
- HULTIN, H.O.; LEVINE, A.S. Pectin methyl esterase in the ripening banana. **J. Food Sci.**, v.30, p.917-21, 1965.
- HULTIN, H.O.; LEVINE, A.S. On the occurrence of multiple molecular forms of pectinesterase. **Arch. of Biochem. and Bioph.**, v.101, p.396-402, 1963.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz.** 3. São Paulo, 1985. 533 p.
- JARAMILLO, J. **Elementos de una propuesta para la organización de la investigación en musaceas;** America Latina y el Caribe. Turrialba, Costa Rica: INIBAP/CATIE, 1987. 120 p.
- KOJIMA, K.; SAKURAI, N.; KURAISHI, S. Fruit softening in banana: correlation among stress-relaxation parameters. Cell wall components and starch during ripening. **Physiol. Plant.**, v.90, p.772-8, 1994.
- KOJIMA, K.; SAKURAI, N.; KURAISHI, S.; KOKUBO, A. Changes in firmness and chemical constituent of banana fruits during ripening. **Jpa. J. Trop. Agr.**, v.38, n.4, p.293-7, 1994a.
- KOJIMA, K.; SAKURAI, N.; KURAISHI, S. Changes in firmness and chemical constituents of plantain fruits during ripening after ethylene treatment. **Jpa. J. Trop. Agr.**, v.38, n.4, p.323-7, 1994b.
- KOJIMA, K. Softening of banana fruit: relationship between firmness and chemical composition. **JARQ**, v.30, p.269-74, 1996.
- KNEE, M.; BARTLEY, I.M. Composition and metabolism of cell wall polysaccharides in ripening fruit. In: FRIEND, J.; RHODES, M.J.C. **Recent advances in the biochemistry of fruits and vegetables.** London: Academic Press, 1981. p.133-48.
- LABAVITCH, J.M. Cell wall turnover in plant development. **Ann. Rev. Plant Physiol.**, v.32, p.385-406, 1981.

- LITZ, R.E. **The mango**: botany, production and uses. Wallingford: CAB International, 1997. 587 p.
- LUCHSINGER, W.W.; CORNESKY, R.A. Reducing power by the dinitrosalicilic acid method. **Analyt. Biochem.**, v.4, p.346-7, 1962.
- LUTON, M.T.; HOLLAND, D.A. The effect of preharvest factors on the quality of stored 'Conference' pears. **J. Hortic. Sci.**, v. 61, p. 23-32, 1986.
- MAGALHÃES, M.M. **Desenvolvimento e carboidratos constituintes do fruto de jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba* BERG cv. 'Sabara')**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1991. 77 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- McCREADY, R.M.; GUGGOLZ, J.; SILVEIRA, V.; OWENS, H.S. Determination of starch and amylose in vegetables. Application to peas. **Anal. Chem.**, v.22, n.9, p.1156-8, 1950.
- MARRIOTT, J. Bananas: physiology and biochemistry of storage and ripening for optimum quality. **Crit. Rev. Food Sci. Nutr.**, v.13, p.41-88, 1980.
- MARRIOT, J.; ROBINSON, M.; KARIKARI, S.K. Starch and sugar transformation during the ripening of plantains and bananas. **J. Sci. Agric.**, v.32, p.1021-6, 1981.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 889 p.
- MARTIN-PRÉVEL, P. Some new results about the pre- and post- harvest maturation and ripening of the banana. **Acta Hort.**, v.138, p. 65-171, 1983.
- MOTA, R.V.; LAJOLO, F.M.; CORDENUNSI, B.R. Composição em carboidratos de alguns cultivares de banana (*Musa* spp.) durante o amadurecimento. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v.17, n. 2, p.94-7, 1997.
- MUSTAFFA, R.; OSMAN, A.; YUSOF, S.; MOHAMED, S. Physico-chemical changes in Cavendish banana (*Musa cavendishii* L. var *Montel*) at different positions within a bunch during development and maturation. **J. Sci. Food Agric.**, v.78, p.201-7, 1998.
- NGALANI, J.A.; TCHANGO, J.T.; REYNES, M. Starch and sugar transformation during the ripening of banana and plantain cultivars grown in Cameroon. **Trop. Sci.**, v.39, p.115-9, 1999.
- NEW, S.; MARRIOTT, J. Factors affecting the development of "finger drop" in bananas after ripening. **J. Food Technol.**, v.18, p.241-50, 1988.
- NELSON, N. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. **J. Biol. Chem.**, v.153, p.375-80, 1944.

- PATEL, R. Z. A note on the seasonal variations in starch content of different parts of arabica coffee trees. **East Afr. Agric. and For. J.**, v.36, p.1-6, 1970.
- PATHAK, N.; SANWAL, G.G. Multiple forms of polygalacturonase from banana fruits. **Phytochemistry**, v.48, n.2, p.249-55, 1998.
- PAULL, R.E. Ethylene, storage and ripening temperatures affect Dwarf Brazilian banana finger drop. **Postharv. Biol. and Techn.**, v.8, p.64-74, 1996.
- PEREIRA, M.C.T. **Caracterização, anatomia do pedicelo, fisiologia e redução do despencamento natural de bananas após a colheita**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 2002. 97 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- PESIS, E.Y.F.; ZAUBERMAN, G. Cellulase activity and fruit softening in avocado. **Plant. Physiol.**, v.61, p. 416-9, 1978.
- PRABHA, T. N.; BHAGYALAKSHMI, N. Carbohydrate metabolism in ripening banana fruit. **Phytochemistry**, v.48, n.6, p.915-19, 1998.
- PRESSEY, R. Enzymes in food and beverage processing. In: ORY, R.L.; St. ANGELO, A.J. (Eds.). **ACS symposium series**. [S.l.: s.n.], 1977. n. 47, p.172.
- PRESSEY, R.; AVANTS, J.K. Pear polygalacturonases. **Phytochemistry**, v.15, p.1349-51, 1976.
- PRIYA SETHU, K.M.; PRABHA, T.N.; THARANATHAN, R.N. Post-harvest biochemical changes associated with the softening phenomenon in *Capsicum annuum* fruits. **Phytochemistry**, v.42, n.4, p. 961-6, 1996.
- REVILLA, G.R.; ZARRA, I.; MASUDA, Y. Molecular weight distribution of hemicellulosic polysaccharides of the cell wall of tall and dwarf rice cultivars, and effect of GA3. **Physiol. Plant.**, v.72, p.782-9, 1988.
- REXOVA-BENKOVA, L.; MARKOVIC, O. Advances in carbohydrate chemistry and biochemistry. In: TIPSON, R.S.; HORTON, D. (Eds.). New York: Academic Press, 1976. p.323-85.
- SALOMÃO, L.C.C. **Efeitos do envoltório plástico no desenvolvimento e na maturação pós-colheita de frutos de banana (*Musa AAB*) 'Mysore'**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1995. 104 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- SEMPLE, A. J.; THOMPSON, A. K. Influence of the ripening environment on the development of finger drop in bananas. **J. Sci. Food. Agric.**, v.46, p.139-46, 1988.

- SEYMOUR, G.B. Banana. In: SEYMOUR, G.B.; TAYLOR, J.; TUCKER, G. (Eds.). **Biochemistry of fruit ripening**. London: Chapman and Hall, 1993. p.83-106.
- SEYMOUR, G. B. **The effects of gases and temperature on banana ripening**. [S.l.: s.n.], 1985. These (Doctor) – University of Reading.
- SIMMONDS, N.W. **Bananas**. London: Logman, 1966. 512 p.
- SOTO BALLESTERO, M. **Bananos: cultivo y comercialización**. 2. ed. San José, Costa Rica: Litografía e Imprenta LIL, 1992. 674 p.
- SOTO, M. **Cultivo y comercialización del banano, Siembra y operaciones del cultivo**. San José, Costa Rica: Ministerio de Agricultura e Ganadería, 1983. 463 p.
- SOMOGYI, M. Notes on sugar determination. **J. Biol. Chem.**, v.95, p.19-23, 1952.
- SMITH, N.J.S.; TUCKER, G.A.; JEGER, M.J. Softening and cell wall changes in bananas and plantains. Tropical fruit-aspects of marketing. **Aspec. of Appl. Biol.**, v.20, p.57-65, 1989.
- SGARBIERI, V.C.; FIGUEIREDO, I.B. Transformações bioquímicas da banana durante o amadurecimento. **Rev. Bras. de Tecnol.**, v.2, p. 85-94, 1971.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 2. ed. Redwood City: The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., 1998. 792 p.
- TERRA, N.N. **Transformação amido-sacarose durante o amadurecimento da banana (*Musa acuminata* cv. *Cavendish*)**. São Paulo: USP, 1981. 88 f. Tese (Doutorado em Ciências Farmacêuticas) – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- WADE, N. L.; KAVANAGH, E. E.; HOCLEY, D. G. Relationship between softening and the polyuronides in ripening banana fruit. **J. Sci. Food Agric.**, v.60, p.61-8, 1992.
- WONG, K.K.Y.; TAN, L.U.L.; SADDLER, J.N. Multiplicity of beta-1,4-xylanase in microorganisms: functions and applications. **Microbiol. Rev.**, v.52, n.13, p.305-17, 1988.

APÉNDICE

APÊNDICE

Tabela 1A – Médias de resistência ao despençamento (N) de pedicelo de bananas em cinco estádios de amadurecimento

| Genótipos | Índice de Cor da Casca | | | | |
|-----------|------------------------|--------|--------|---------|---------|
| | 1 | 3 | 5 | 6 | 7 |
| TERRA | 127,53 | 127,53 | 127,53 | 112,706 | 85,674 |
| PRATA | 127,53 | 127,53 | 45,562 | 29,212 | 12,099 |
| SH-3640 | 127,53 | 127,53 | 47,415 | 13,7776 | 11,3796 |

Tabela 2A – Médias de consistência (kPa) da polpa de bananas em cinco estádios de amadurecimento

| Genótipos | Índice de Cor da Casca | | | | |
|-----------|------------------------|-----------|---------|---------|---------|
| | 1 | 3 | 5 | 6 | 7 |
| TERRA | 1.455,633 | 1.215,327 | 206,387 | 259,852 | 179,942 |
| PRATA | 878,439 | 259,852 | 152,922 | 133,376 | 109,230 |
| SH-3640 | 627,095 | 146,023 | 96,237 | 70,252 | 75,311 |

Tabela 3A – Médias do teor de matéria seca (%) de pedicelo de bananas em cinco estádios de amadurecimento

| Genótipos | Índice de Cor da Casca | | | | |
|-----------|------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | 1 | 3 | 5 | 6 | 7 |
| TERRA | 13,45029 | 15,91438 | 16,35365 | 19,081 | 19,58557 |
| PRATA | 11,11111 | 11,62467 | 11,97385 | 12,26772 | 14,26694 |
| SH-3640 | 10,54184 | 9,666179 | 9,655999 | 9,864161 | 9,930938 |

Tabela 4A – Médias de taxa respiratória (mg CO₂. kg MF⁻¹.h⁻¹) em frutos de bananas em cinco estádios de amadurecimento

| Genótipos | Índice de Cor da Casca | | | | |
|-----------|------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | 1 | 3 | 5 | 6 | 7 |
| PRATA | 24,98274 | 154,3342 | 141,9514 | 135,7716 | 110,3742 |
| SH-3640 | 17,24004 | 69,82072 | 76,01181 | 71,32674 | 74,94833 |
| TERRA | 66,70103 | 108,9389 | 106,8253 | 122,5701 | 146,8989 |

Tabela 5A – Médias de teor de amido (%) em pedicelo de bananas em cinco estádios de amadurecimento

| Genótipos | Índice de Cor da Casca | | | | |
|-----------|------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | 1 | 3 | 5 | 6 | 7 |
| TERRA | 4,109091 | 2,690909 | 3,654545 | 3,453818 | 2,212364 |
| PRATA | 2,236364 | 0,970909 | 1,008 | 1,302545 | 1,047273 |
| SH-3640 | 2,216727 | 0,562909 | 0,566182 | 0,763091 | 0,857455 |

Tabela 6A – Médias de teor de açúcares solúveis totais (%) em pedicelo de bananas em cinco estádios de amadurecimento

| Genótipos | Índice de Cor da Casca | | | | |
|-----------|------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | 1 | 3 | 5 | 6 | 7 |
| TERRA | 0,450505 | 2,15303 | 2,542424 | 4,121212 | 4,978788 |
| PRATA | 0,851515 | 0,987879 | 1,450505 | 1,75556 | 2,563636 |
| SH-3640 | 0,70202 | 0,958586 | 1,006061 | 1,672727 | 1,919192 |

Tabela 7A – Médias de teor de açúcares solúveis não-redutores (%) em pedicelo de bananas em cinco estádios de amadurecimento

| Genótipos | Índice de Cor da Casca | | | | |
|-----------|------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | 1 | 3 | 5 | 6 | 7 |
| TERRA | 0,355713 | 1,770738 | 1,765341 | 2,79517 | 3,343371 |
| PRATA | 0,613494 | 0,539441 | 0,846338 | 0,806602 | 0,964678 |
| SH-3640 | 0,51452 | 0,725773 | 0,641478 | 0,666477 | 0,828567 |

Tabela 8A – Médias de teor de açúcares solúveis redutores (%) em pedicelo de bananas em cinco estádios de amadurecimento

| Genótipos | Índice de Cor da Casca | | | | |
|-----------|------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | 1 | 3 | 5 | 6 | 7 |
| TERRA | 0,094792 | 0,382292 | 0,777083 | 1,326042 | 1,635417 |
| PRATA | 0,238021 | 0,448438 | 0,604167 | 0,948958 | 1,598958 |
| SH-3640 | 0,1875 | 0,232813 | 0,364583 | 1,00625 | 1,090625 |

Tabela 9A – Médias de teor de pectina (g (100 g MF)⁻¹) em pedicelo de bananas em cinco estádios de amadurecimento

| Genótipos | Índice de Cor da Casca | | | | |
|-----------|------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | 1 | 3 | 5 | 6 | 7 |
| TERRA | 2,133333 | 1,7 | 1,35 | 1,066667 | 0,466667 |
| PRATA | 1,166667 | 1,266667 | 1,133333 | 0,833333 | 1,166667 |
| SH-3640 | 1,133333 | 1,133333 | 0,933333 | 0,733333 | 1,033333 |

Tabela 10A – Médias de teor de hemicelulose mais celulose (g (100 g MF)⁻¹) em pedicelo de bananas em cinco estádios de amadurecimento

| Genótipos | Índice de Cor da Casca | | | | |
|-----------|------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | 1 | 3 | 5 | 6 | 7 |
| TERRA | 5,606 | 6,418667 | 8,313333 | 6,278 | 5,434667 |
| PRATA | 5,098 | 6,086667 | 6,16 | 6,071333 | 6,510667 |
| SH-3640 | 10,39467 | 9,848 | 10,00133 | 7,199333 | 10,58333 |

Tabela 11A – Médias de atividade de poligalacturonase ($\mu\text{mol \acute{a}c. galactur\acute{o}nico.min^{-1}/g MF$) em pedicelo de bananas em cinco estádios de amadurecimento

| Genótipos | Índice de Cor da Casca | | | | |
|-----------|------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 3 | 5 | 6 | 7 |
| TERRA | 0,3007 | 0,3364 | 0,773 | 0,9245 | 0,891 |
| PRATA | 0,1263 | 0,1485 | 0,413 | 0,7307 | 0,7659 |
| SH-3640 | 0,07084 | 0,2485 | 0,2846 | 0,7409 | 0,5892 |

Tabela 12A – Médias de atividade de pectinametilesterase ($\mu\text{mol ester}\cdot\text{min}^{-1}/\text{g MF}$) em pedicelo de bananas em cinco estádios de amadurecimento

| Genótipos | Índice de Cor da Casca | | | | |
|-----------|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 1 | 3 | 5 | 6 | 7 |
| TERRA | 0,5229541 | 0,405854 | 0,265469 | 0,204923 | 0,121091 |
| PRATA | 0,2744511 | 0,2794411 | 0,4840319 | 0,2954092 | 0,2135729 |
| SH-3640 | 0,1377246 | 0,3200266 | 0,2694611 | 0,324018 | 0,4916833 |

Tabela 13A – Médias de atividade de xilanase ($\mu\text{mol glicose}\cdot\text{min}^{-1}/\text{g MF}$) em pedicelo de bananas em cinco estádios de amadurecimento

| Genótipos | Índice de Cor da Casca | | | | |
|-----------|------------------------|---------|---------|---------|---------|
| | 1 | 3 | 5 | 6 | 7 |
| TERRA | 0,0467 | 0,06119 | 0,05456 | 0,08199 | 0,07792 |
| PRATA | 0,03852 | 0,05324 | 0,05531 | 0,07075 | 0,05645 |
| SH-3640 | 0,04459 | 0,05949 | 0,08302 | 0,07313 | 0,05008 |