

EDUARDO VALÉRIO DE BARROS VILAS BOAS

**MODIFICAÇÕES PÓS-COLHEITA DE BANANA
'PRATA' (*Musa acuminata* x *Musa balbisiana*
GRUPO AAB) γ -IRRADIADA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, para obtenção do grau de "MESTRE".

**ORIENTADOR
PROF. DR. ADIMILSON BOSCO CHITARRA**

**LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
1995**

Ficha Catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e Classificação da Biblioteca Central da ESAL

Vilas Boas, Eduardo Valério de Barros

Modificações pós-colheita de banana 'prata' (Musa acuminata X Musa balbisiana grupo AAB) γ -irradiada / Eduardo Valério de Barros Vilas Boas.-- Lavras : UFLa, 1995.

73 p. : il.

Orientador: Adimilson Bosco Chitarra.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras.

Bibliografia.

1. Banana - Radiação gama. 2. Banana - Fisiologia pós-colheita. 3. Banana - Composição química. 4. Banana - Bioquímica. 5. Banana - Armazenamento. I. UFLa. II. Título.


CDD - 644.804772

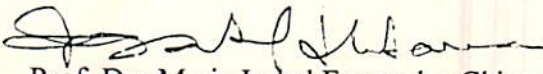
EDUARDO VALÉRIO DE BARROS VILAS BOAS

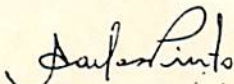
**MODIFICAÇÕES PÓS-COLHEITA DE BANANA
'PRATA' (*Musa acuminata* x *Musa balbisiana*
GRUPO AAB) γ -IRRADIADA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, para obtenção do grau de "MESTRE".

APROVADA em 23 de Fevereiro de 1995


Prof. Dr. Adimilson Bosco Chitarra
(Orientador)


Prof. Dra. Maria Isabel Fernandes Chitarra
(Co-orientador)


Dr. Alberto Carlos de Queiroz Pinto

A DEUS

À memória de meus pais,

Antônio e Eunice

Aos meus sobrinhos,

Rodrigo, Leandro, Virginia, Alexandre, Igor e ao que está por vir

Enfim, à minha família

.....DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura de Lavras - ESAL (atualmente Universidade Federal de Lavras - UFLA) e seu Departamento de Ciência dos Alimentos, pela acolhida.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Aos Professores Adimilson Bosco Chitarra e Maria Isabel Fernandes Chitarra, pela confiança, respeito, orientação e amizade.

Ao Veterinário e pós-graduando do curso de zootecnia da UFLA, Carlos Tadeu Ribeiro de Castro, pela gentileza e desprendimento na doação dos frutos.

Ao solícito Engenheiro Agrícola e pós-graduando do curso de Ciência dos Alimentos da UFLA, Rogério Amaro Gonçalves, pelo imprescindível trabalho de marcação de florada, acompanhamento de campo, colheita dos frutos, e pela amizade.

Ao Centro de Energia Nuclear de Piracicaba, pelas facilidades na irradiação dos frutos.

À acadêmica do curso de Agronomia, Luciana Costa Lima, e ao meu sobrinho Leandro Vilas Boas de Souza, pelo auxílio nas análises de laboratório.

Ao Prof. Oliveiro José Vieira, pelo convívio e facilidades.

Aos Prof. José da Cruz Machado e Mário Sobral de Abreu, pelo empréstimo das cubas de maturação e informações sobre controle fúngico.

Ao Prof. Renê Luiz de Oliveira Rigitano , pelas informações sobre cromatografia.

Ao Prof. Marcelo Silva Oliveira, pela revisão da análise estatística.

À bióloga Mércia Magalhães , laboratorista do Laboratório de Bioquímica e Fisiologia Pós-colheita do Departamento de Ciência dos Alimentos, pelas facilidades e atenção.

Aos colegas e amigos do curso de Pós-graduação em Ciência dos Alimentos, aos funcionários, monitores e professores, pelo convívio e apoio.

À professora Maria de Fátima Piccolo Barcelos que me “abriu as portas” do Departamento de Ciência dos Alimentos e da pesquisa e que muito me ensinou e incentivou.

A todos aqueles que, anonimamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

página

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMO	x
SUMMARY	xii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	2
2 REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1 Aspectos Gerais	3
- 2.2 Coloração	4
- 2.3 Respiração e etileno (C ₂ H ₄)	5
- 2.4 Relação Polpa/Casca	9
2.5 Amido e açúcares	10
- 2.6 Pectinas	13
2.7 Pectinametilesterase	14
2.8 Poligalacturonase	15
2.9 Radiação	17
2.10 Radiação em bananas	19
2.10.1 Respiração e Etileno	20
2.10.2 Amido e Açúcares	22
2.10.3 Pectinas	23
3 MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 Geografia, Clima e Solo	25
3.2 Colheita e Preparação dos Frutos	26
3.3 Análises Fisiológicas	27

3.4 Análises Física e Químicas	28
3.5 Análises Bioquímicas	29
3.6 Delineamento experimental e Análise Estatística	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1 Coloração	31
4.2 Respiração e Etileno (C ₂ H ₄)	31
4.3 Relação Polpa/Casca	39
4.4 Amido e Açúcares	42
4.5 Pectinas	46
4.6 Pectinametilesterase	53
4.7 Poligalacturonase	54
5 CONCLUSÕES	60
6 SUGESTÃO	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
APÊNDICE	72

LISTA DE TABELAS

TABELA	página
1 Valores médios de dióxido de carbono ($\text{mg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \text{ fruto} \cdot \text{h}^{-1}$) produzido por banana 'Prata' gama irradiada, durante a maturação	33
2 Valores médios de etileno ($\mu\text{l C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \text{ fruto} \cdot \text{h}^{-1}$) produzido por banana 'Prata' gama irradiada, durante a maturação	34
3 Valores médios de relação polpa/casca (P/C), amido e açúcares solúveis (A.S.T.) totais de banana Prata' gama irradiada, em seis graus de coloração da casca	40
4 Valores médios de pectina solúvel (P.S.), pectina total (P.T.), relação pectina solúvel/pectina total (P.S./P.T.) de banana 'Prata' gama-irradiada, em seis graus de coloração da casca	49
5 Valores médios de pectinametilsterase (PME) e poligalacturonase (PG) de banana 'Prata' gama irradiada, em seis graus de coloração da casca	56

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	página
1 Evolução de dióxido de carbono (CO_2) e etileno (C_2H_4) durante a maturação de banana 'Prata' gama irradiada	35
2 Evolução de etileno (C_2H_4) x dióxido de carbono (CO_2) durante o climatério de banana 'Prata' gama irradiada	36
3 Relação polpa/casca (P/C) x dióxido de carbono (CO_2) durante o climatério de banana 'Prata' gama irradiada	41
4 Amido x dióxido de carbono (CO_2) durante o climatério de banana 'Prata' gama irradiada	44
5 Açúcares solúveis totais (A.S.T.) dióxido de carbono (CO_2) durante o climatério de banana 'Prata' gama irradiada	45

6 Pectina solúvel (P.S.) x dióxido de carbono (CO ₂) durante o climatério de banana 'Prata' gama irradiada	50
7 Pectina total (P.T.) x dióxido de carbono (CO ₂) durante o climatério de banana 'Prata' gama irradiada	52
8 Relação pectina solúvel/pectina total (P.S./P.T.) x dióxido de carbono (CO ₂) durante o climatério de banana 'Prata' gama irradiada	51
9 Atividade da pectinametilsterase (PME) e poligalacturonase (PG) durante a maturação de banana 'Prata' gama irradiada	57
10 Atividade da pectinametilsterase (PME) x dióxido de carbono (CO ₂) durante o climatério de banana 'Prata' gama irradiada	58
11 Atividade da poligalacturonase (PG) x dióxido de carbono (CO ₂) durante o climatério de banana "Prata" gama irradiada	59

RESUMO

VILAS BOAS, Eduardo Valério de Barros. Modificações pós-colheita de banana "Prata" (*Musa acuminata* x *Musa balbisiana* - grupo AAB) γ -irradiada. Lavras; UFLA, 1995. 75p. (Dissertação - Mestrado em Ciência dos Alimentos)*.

Banana da cultivar 'Prata' (*Musa acuminata* x *Musa balbisiana*, grupo AAB) foi submetida, no estágio pré-climatérico, à radiação γ (0.00kGy (controle), 0.25kGy e 0.50kGy), à taxa de dose de $1\text{kGy}\cdot\text{h}^{-1}$ e analisada com relação à produção de dióxido de carbono (CO_2) e evolução de etileno (C_2H_4), no decorrer da maturação, relação polpa/casca, conversão de amido a açúcares, modificações nas substâncias pécnicas, e atividade das enzimas pectinametilesterase (PME) e poligalacturonase (PG) em seis graus de coloração da casca. A radiação γ não interferiu no desenvolvimento normal da coloração dos frutos, determinando uma elevação na produção de etileno e uma redução na taxa de CO_2 , sem contudo estender a fase pré-climatérica dos mesmos. A relação polpa/casca mostrou-se significativamente afetada pela interação dose de radiação e grau de coloração da casca, sendo que a dose 0.25kGy determinou o maior incremento nos graus 5, 6 e 7. Um previsível incremento na conversão amido a açúcares solúveis foi observado no decorrer da maturação, sendo que a radiação não afetou a hidrólise do amido, enquanto um efeito retardado sobre a redução do acúmulo de açúcares solúveis totais tenha sido observado nos frutos

submetidos a 0.50kGy no sexto e sétimo graus de coloração da casca. Os frutos irradiados a 0.50kGy apresentaram uma redução no teor de pectina total, e uma tendência de maior solubilização de pectinas, sendo que a radiação γ , de uma maneira geral, estimulou a atividade da PME, muito embora tenha suprimido a atividade da PG.

*Orientador: Prof. Dr. Admilson Bosco Chitarra. Membros da banca: Prof. Dra. Maria Isabel Fernandes Chitarra e Dr. Alberto Carlos de Queiroz Pinto.

SUMMARY

POST HARVEST CHANGES OF BANANA 'PRATA' (*MUSA ACUMINATA* X *MUSA BALBISIANA* - GROUP AAB) γ -IRRADIATED

Pre-climacteric bananas (*Musa acuminata* x *Musa balbisiana* [AAB group] cv. Prata) were stored without treatment (no radiation) or were exposed at 0.25 and 0.50kGy of γ -irradiation, with a dose rate of 1kGy.h⁻¹ before storage. The fruits were analysed for CO₂ and ethylene production during maturation and pulp-to-peel ratio, starch, total soluble sugars, pectins, pectinmethylesterase and polygalacturonase activities on 6 colour score of peel. The γ -irradiation did not affect the normal colour development of the fruits, whereas resulted in an increased ethylene synthesis and a reduction in the levels of CO₂ produced during the climateric peak, however the shelf-life of the fruits was not extended. The radiation dose/peel-colour interaction affected the pulp-to-peel ratio significantly, while the fruits subjected at 0.25kGy had the highest increase on the colour scores 5, 6, and 7. A predictable increase in the conversion of starch to sugar took place during maturation. Effects on starch hydrolyses due to the radiation were not observed, whereas a delaying on the soluble sugar accumulation was noted on the fruits

submitted to 0.50kGy, in the 6 and 7 colour scores only. A decrease on the total pectin content and a trend of a higher solubilization of pectins was observed in the fruits γ -irradiated at 0.50kGy. Higher pectinmethylesterase activities were exhibited by irradiated fruits, although the γ -irradiation has suppressed the polygalacturonase activity throughout the maturation period.

1 INTRODUÇÃO

A banana, fruto climatérico de considerável importância sócio-econômica nos países tropicais, constitui-se numa inexorável fonte de calorias, vitaminas e minerais de baixo custo. Face às suas agradáveis peculiaridades de aroma e sabor, é consumida tanto na forma crua como processada, por populações de baixo e alto poder aquisitivo.

O Brasil destaca-se como o maior produtor de bananas do mundo, embora a quantidade exportada deste produto seja insignificante devido à sua baixa qualidade e altos índices de perdas, da ordem de 30%.

A banana 'Prata', apresenta-se com relativa importância no mercado interno brasileiro, principalmente nos estados do Sudeste, e vislumbra-se com grandes perspectivas de alcançar, com sucesso, o mercado internacional, na busca de divisas. Não obstante, frente ao curto período de conservação da banana após iniciados os processos relativos ao amadurecimento, técnicas que visem a extensão da fase pré-climatérica têm sido estudadas e aprimoradas com o objetivo de se prolongar sua vida pós-colheita, resguardando-se a manutenção de seus atributos de qualidade.

A utilização de radiações ionizantes na preservação de alimentos foi primeiramente sugerida em 1916 e desde então tem sido assunto de interesse científico, político e público e aplicada a inúmeros produtos alimentícios, entre eles, frutos e hortaliças.

Consideráveis pesquisas visando-se o retardo do amadurecimento de bananas pelo uso de radiação γ têm sido publicadas nos últimos 30 anos. O sucesso de tal técnica de preservação pós-colheita tem sido associado à cultivares, maturidade do fruto e doses utilizadas, sendo que a manipulação da temperatura de armazenamento pode maximizar seus benéficos efeitos.

No mais, imprescindíveis cuidados pré- e pós-colheita são requeridos para que os efeitos da radiação γ transpareçam e se manifestem na forma de um produto saudável e de qualidade. Logo, a condução adequada da cultura, a colheita na maturidade ótima dos frutos, o seu manuseio apropriado e medidas de preservação da sanidade sublimam-se como fortes aliados na extensão da vida-de-prateleira de bananas.

A despeito dos inumeráveis estudos sobre a conservação pós-colheita de bananas, pouco, ou nada se conhece sobre os efeitos da radiação γ em bananas 'Prata'.

Face ao grande potencial de utilização da radiação γ e à carência de estudos no que se refere à banana 'Prata', o presente trabalho teve como objetivos:

Avaliar os efeitos da radiação γ à 0.00; 0.25; e 0.50kGy sobre o prolongamento da vida pós-colheita de bananas 'Prata' e as possíveis modificações fisiológicas (CO_2 e etileno); física (relação polpa/casca); químicas (amido, açúcares e pectinas); e bioquímicas (pectinametilsterase e poligalacturonase), durante sua maturação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ASPECTOS GERAIS

A bananeira, monocotiledônea pertencente à ordem Scitamineae, família Musaceae, sub-família Musoideae, gênero *Musa*, abrange entre 24 e 30 espécies, das quais originam-se todas as cultivares produtoras de frutos partenocárpicos, comestíveis. Das espécies deste gênero, a mais importante é, sem dúvida, a *Musa acuminata* Colla, visto ter sido ela o ponto de partida de todas as bananeiras de frutos comestíveis, quer sozinha, quer com a participação de outra espécie, a *Musa balbisiana* Colla, originando híbridos das duas espécies (Medina, 1993).

Atualmente, adota-se o sistema de classificação desenvolvido por Simmonds e Shepherd (1955), que consideram as contribuições relativas das duas espécies selvagens [*M. acuminata* (A) e *M. balbisiana* (B)] na genética de cada cultivar.

A bananeira 'Prata' é uma cultivar triplóide do grupo AAB, antes classificada como *Musa balbisiana* Colla (Medina, 1993). Caracteriza-se pelo seu alto porte e baixo peso do cacho (6-15Kg), sendo a sua exploração voltada quase que exclusivamente para o consumo "in natura" (Gomes, 1980).

O ponto de colheita do cacho é atingido a partir de 105 dias de idade, com tamanho e características bioquímicas capazes de suportar um maior período de armazenamento e amadurecer normalmente (Ayub, 1990).

2.2 COLORAÇÃO

A mais nítida mudança que ocorre durante o amadurecimento de bananas é a transição de coloração da casca de verde para amarelo e que serve como um guia aproximativo do estágio de maturação (Von Loesecke, 1950; Palmer, 1971), sendo que a maturação é tida como aquela fase que se estende do estágio final de desenvolvimento do fruto até o início da senescência e o amadurecimento é tido como o estágio final da maturação, excluindo-se o desenvolvimento, caracterizando-se os frutos, nesta fase, por acentuadas mudanças organolépticas e plenitude em termos de consumo (Chitarra e Chitarra, 1990).

□ O amarelecimento da casca da banana é devido, primeiramente, à uma degradação da clorofila, relacionada à ação da clorofilase, com consequente desmascaramento dos pigmentos carotenóides (Von Loesecke, 1950; Palmer, 1971; Lizada et al., 1990). Segundo os mesmos autores, não existe, praticamente, nenhuma síntese de carotenóides durante o amadurecimento. □

As diferenças no padrão respiratório podem também ser observadas durante o desenvolvimento da cor, visto que algumas cultivares de banana exibem picos climatéricos em diferentes graus de coloração da casca (Lizada et al., 1990).

A idade dos frutos na colheita, bem como no próprio cacho (posição das diferentes pencas) estabelece um gradiente no desenvolvimento de coloração da casca sob condições naturais de amadurecimento (Lizada et al., 1990).

As análises de coloração da casca são feitas, normalmente, por métodos objetivos ou subjetivos. Medicott et al. (1992), observaram uma íntima correlação para bananas e mangas, entre os escores de cores subjetivos (visuais) e as medidas instrumentais. Um relacionamento similar foi obtido para escores de cores e os teores de clorofila, embora eles não tenham se relacionado com os níveis de carotenóides. Logo, uma prática comum ao se acessar o amadurecimento de banana tem sido a comparação da cor da casca com uma carta padrão de cores, preparada especificamente para o fruto (Ramaswamy e Tung, 1989).

As bananas são selecionadas com base na coloração da casca para diferentes usos; aquelas para consumo imediato são selecionadas no grau amarelo dourado, enquanto para armazenamento ou distribuição, normalmente, no grau verde escuro (Ramaswamy e Tung, 1989).

A coloração da casca também é utilizada como um preditor da vida pós-colheita, para distribuição no varejo.

2.3 RESPIRAÇÃO E ETILENO (C₂H₄)

A respiração de frutos é um índice de sua atividade fisiológica e seu potencial de armazenamento (Salunke, Bolin e Reddy, 1991). Após a colheita, os frutos têm vida independente e utilizam suas próprias reservas de substratos com consequente depressão nas reservas de matéria seca acumulada. Todavia, as atividades não são apenas catabólicas, pois que alguns órgãos vegetais utilizam a energia liberada na respiração para continuar a síntese de pigmentos, enzimas e outros materiais de estrutura molecular elaborada, como parte essencial do processo de amadurecimento (Chitarra e Chitarra, 1990).

[A banana, após a sua colheita, continua a respirar, liberando dióxido de carbono (CO_2), etileno (C_2H_4) e pequenas quantidades de ésteres voláteis (Von-Loesecke, 1950). Tal fruto exibe um padrão climatérico de respiração que se caracteriza, inicialmente, por uma baixa taxa de produção de CO_2 , ou absorção de O_2 (pré-climatérico), seguida por uma súbita elevação (ascensão climatérica), um nivelamento superior (pico climatérico) e finalmente um declínio (pós-climatérico) (Von Loesecke, 1950; Palmer, 1971; Abdullah et al., 1990).]

A taxa de respiração pré-climatérica a $16-24^\circ\text{C}$ pode variar de 8 a $50\text{mg CO}_2\text{kg}^{-1}\text{fruto}\cdot\text{h}^{-1}$ e a taxa climatérica, de 60 a $250\text{mg CO}_2\text{Kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$. O aumento na respiração do pré-climatérico ao climatérico varia de 4 a 10 vezes (Palmer, 1971).

[A ação respiratória envolve oxidação de carboidratos e consequente liberação de calor (Von Loesecke, 1950; Salunke, Bolin e Reddy, 1991), sendo que no auge da atividade respiratória, a mudança de cor na casca, de verde para amarelo, começa a ser visível (Von Loesecke, 1950; Young, Romani e Biale, 1962).]

A taxa respiratória aumenta com o aumento da temperatura, sendo que o período pré-climatérico apresenta-se como uma função linear inversa da mesma (Marriot, 1980). A natureza do climatérico, contudo, difere entre cultivares e a maturidade na colheita desempenha um importante papel no padrão respiratório da banana (Abdullah et al., 1990). A maturidade na colheita está diretamente relacionada com o período entre o florescimento e a colheita, muito embora existam variações de maturidade dentro de um mesmo cacho. Frutos localizados próximos à base do pedúnculo do cacho (pencas superiores) são mais maduros que aqueles do final floral do cacho (pencas inferiores). Não obstante, esse gradiente de maturidade nem sempre resulta em respostas diferenciais na respiração e produção de C_2H_4 (Abdullah et al., 1990).

A mudança na atividade respiratória de bananas indica uma alteração no metabolismo da via alternativa hexose monofosfato para a via glicolítica. A enzima chave na via glicolítica, a fosfofrutoquinase, é ativada e sua ativação é paralela a um incremento na taxa respiratória (Surendranathan e Nair, 1980; Beaudry et al., 1987). Segundo os mesmos autores, a elevação na atividade de enzimas da via glicolítica e ciclo de Krebs auxilia o fruto a assimilar energia como ATP, produzido a partir da degradação do amido e oxidação das hexoses resultantes. Resultados obtidos por Hubbard, Pharr e Hubber (1990), sugerem que a biossíntese da sacarose durante o amadurecimento, constitui uma significativa fonte para o ATP respiratório, correlacionando-a positivamente com a quantidade acumulativa de CO_2 emitido.

O C_2H_4 é um hormônio vegetal volátil produzido, provavelmente, por todos os vegetais. Ele é conhecido por elicitar uma gama de respostas fisiológicas, incluindo a indução do climatério respiratório (Biale, 1964).

Na maioria dos frutos, climatéricos e não climatéricos, expostos ao C_2H_4 , existe um aumento na atividade respiratória deduzindo-se, geralmente, que o climatério respiratório seja uma consequência direta de concentrações aumentadas de C_2H_4 interno (Brady e Speirs, 1991).

A importância do C_2H_4 no amadurecimento é evidente a partir de seu efeito de estimulação no amarelecimento, do amaciamento da polpa, da respiração e de sua produção autocatalítica. Seu papel tem sido confirmado pelo retardamento do amadurecimento por inibidores da sua síntese e da sua ação (Abeles, 1992).

Trewavas (1981) sugere que o envolvimento do C_2H_4 tanto no amadurecimento, como na senescência, seja como um acelerador antes que um iniciador. A banana, todavia, amadurece se exposta a suficientes concentrações de C_2H_4 em qualquer estágio de maturação, embora concentrações maiores sejam necessárias para frutos mais jovens.

O amadurecimento tem sido associado com algum redirecionamento de síntese protéica. Tal redirecionamento estabelece que existe um acúmulo de proteínas específicas do amadurecimento e que isto envolve mudanças na expressão gênica e no espectro de proteínas sintetizadas (Brady e Speirs, 1991). Segundo estes autores, a respiração e a síntese protéica em tecidos de frutos aumentam em resposta a exposições ao C_2H_4 .

O surgimento e incremento na atividade de muitas enzimas têm sido observados durante o amadurecimento e associados ao C_2H_4 , tais como a poligalacturonase, enzima málica, carboxilase, diaforase, citocromo C redutase, α -amilase, clorofilase, β -cianoalanina sintase e RNase (Abeles, Morgan e Saltveit, 1992). A maioria das informações relativas ao amadurecimento referem-se ao amaciamento da polpa, respiração e produção de C_2H_4 . Ainda de acordo com Abeles et al. (1992), as duas principais enzimas de amaciamento da polpa são as celulases e a poligalacturonase, embora as hemicelulases também possam desempenhar algum papel.

Em tecidos vegetais, o C_2H_4 é produzido a partir da metionina, via S-adenosil metionina (SAM) e ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) (Yang e Hoffman, 1984).

O aumento na produção de C_2H_4 durante o amadurecimento é devido a um aumento na ACC sintase (enzima precursora do ACC) e EFE (enzima precursora do C_2H_4), enquanto enzimas associadas com a síntese de metionina parecem não estar envolvidas (Abeles, Morgan e Saltveit, 1992).

Observou-se um baixo teor de ACC durante a fase pré-climatérica de bananas, enquanto que o aumento na produção de C_2H_4 durante o climatério foi precedido por uma elevação no teor de ACC da polpa (Lizada et al., 1990). O nível de ACC atingiu seu pico quando o C_2H_4 ainda estava em ascensão e caiu logo em seguida. Este comportamento concorda com o observado por Hoffman e Yang (1980) para abacate, banana e tomate.

Já segundo Dominguez & Vendrell(1993), o ACC livre na polpa de banana aumenta concomitante à elevação do C_2H_4 e atinge seu pico antes deste, decrescendo em seguida com um incremento nos níveis de malonil ACC (MACC). Estes mesmos autores observaram que, na casca, o ACC livre permaneceu baixo, enquanto o MACC aumentou consideravelmente após o pico do C_2H_4 .

A enzima EFE apresenta uma baixa atividade antes do início do amadurecimento, tanto na casca como na polpa da banana. Imediatamente após a ascensão climatérica, a atividade da EFE na polpa aumenta a um máximo que coincide com o pico do C_2H_4 , decrescendo, em seguida, no mesmo padrão que o C_2H_4 . Na casca, contudo, a atividade da EFE permanece baixa durante o pico de produção de C_2H_4 , aumentando com o climatério respiratório(Dominguez e Vendrell, 1993). Estes autores sugerem que a atividade da EFE na polpa seja um fator chave para o início da produção autocatalítica do C_2H_4 .

— No amadurecimento de bananas, o aumento na produção de C_2H_4 ocorre pouco antes do climatério respiratório e de outras mudanças como a hidrólise do amido ou a degradação da clorofila(Dominguez e Vendrell, 1993), sendo que o padrão climatérico de respiração se aplica a evolução de C_2H_4 (Young, Romani e Biale, 1961; Abdullah et al., 1990).

2.4 RELAÇÃO POLPA/CASCA

Durante o amadurecimento da banana observa-se um aumento no peso da polpa devido a um incremento no seu teor de umidade, sendo que esta água é obtida a partir da casca, e provavelmente, também do engaço(Lizada et al., 1990). Face a este fenômeno, a casca perde peso, o que determina um aumento na relação polpa/casca com o amadurecimento do fruto/ Essa

relação é chamada de “coeficiente de amadurecimento” sendo sugerida sua utilização como um índice de maturidade (Von Loesecke, 1950). Este aumento na relação polpa/casca está relacionado com a concentração diferenciada de açúcares nos dois tecidos (Charles e Tung, 1973; Lustre et al., 1976). Existe um aumento mais rápido nos açúcares da polpa durante o amadurecimento, comparado com aquele na casca, contribuindo para uma mudança diferencial na pressão osmótica. A perda de umidade da casca além de ser determinada por forças osmóticas também o é por forças transpiracionais (Lizada et al., 1990).

Sgarbieri e Figueiredo (1971), trabalhando com banana ‘Nanica’, observaram uma modificação muito rápida da relação, de 1.4, para o fruto verde, até 2.3 para o fruto maduro. Já, os valores para banana ‘Prata’ variaram de 1.2 a 2.7 (Pinto, 1978), 1.6 a 2.6 (Rossignoli, 1983) e 1.2 a 2.2 (Carvalho et al., 1988a), para frutos verdes e maduros, respectivamente.

2.5 AMIDO E AÇÚCARES

A degradação do amido é uma das características mais flagrantes durante o processo de amadurecimento de frutos climatéricos (Konish et al., 1991). Também na polpa da banana a mudança mais marcante, durante o amadurecimento, é a conversão de amido a açúcares (Forsyth, 1980). De acordo com Von Loesecke (1950), o amido da polpa do fruto sofre uma rápida conversão no início do amadurecimento. Segundo o mesmo autor, nesse estágio, a casca, como uma regra, ainda está verde e túrgida, mas a polpa já começa a tornar-se macia. Quando o fruto é amadurecido pelos métodos convencionais, existe uma íntima correlação entre a relação amido/açúcar e a cor da casca (Charles e Tung, 1973). Um pequeno mas definitivo decréscimo nos carboidratos totais ocorre durante o amadurecimento de todas as cultivares de banana, devido a

utilização de parte da glicose na respiração. O amido que é armazenado nos amiloplastos, sofre uma degradação paralela ao amadurecimento até os frutos terem respirado 2 a 5% de seu peso como CO_2 (Biale, 1964 e Simmonds, 1955).

O amido, o principal constituinte da polpa da banana imatura, varia de cerca de 15 a 25% em cultivares de mesa ou sobremesa e cerca de 30 a 40% em cultivares de cozimento. Com o amadurecimento, o amido é hidrolisado resultando em enriquecimento de 15 a 30% no teor de açúcares da polpa madura (Lizada et al., 1990). De acordo com Marriot (1980), na polpa dos frutos da bananeira, o teor de amido decresce de 15 a 20% na fase pré-climatérica para menos que 1% na fase pós-climatérica. Já, segundo Forsyth (1980), a percentagem de amido da polpa do fruto verde e fresco se reduz de 20 a 23% para somente 1 a 2% do fruto totalmente maduro ao mesmo tempo que o teor de açúcares solúveis aumenta de menos que 1% para quase 20%.

Estudando banana 'Prata', Carvalho et al. (1988b) observaram uma redução no teor de amido de 19.2 a 21.9% no fruto verde para 2.1 a 3.0% na polpa madura. Os açúcares totais aumentaram de 0.95 a 1.30% na polpa dos frutos verdes para 18.23 a 19.03% nos maduros. Trabalhando com a mesma cultivar, Rossignoli (1983) observou valores médios de 22.84% e 2.38% de amido e 2.82% e 15.89% de açúcares totais, nos estádios verde e maduro, respectivamente.

Durante a fase climatérica das bananas, o amido é transformado em sacarose com posterior formação de glicose e frutose (Beaudry et al., 1987). Os açúcares em cada estágio de maturação mantêm-se, inexoravelmente, nas taxas: glicose 20: frutose 15: sacarose 65 (Poland et al., 1938), trabalho confirmado por Palmer e Brandes, 1974. Os resultados de Hubbard, Pharr e Hubber (1990) são divergentes com relação às taxas dos açúcares solúveis. Segundo esses autores, inicialmente, o açúcar predominante, proveniente da degradação do amido, é a sacarose. Não

obstante, as hexoses surgem após a sacarose e a superam em concentração nos estádios finais de maturação.

Vários pesquisadores atribuem uma íntima relação entre a degradação do amido em bananas e o incremento na atividade de diversas enzimas, entre elas: α - e β -amilases (Chitarra e Lajolo, 1981; Mao e Kinsella, 1981; Garcia e Lajolo, 1988), fosforilase (Yang e Ho, 1958; Singh e Sanwal, 1975; Iyari e Ekwukoma, 1992), fosfatase (De Leo e Sacher, 1970; Arêas e Lajolo, 1981; Chitarra e Lajolo, 1981); α -glicosidases (Garcia e Lajolo, 1988; Konish et al., 1991). A atividade da fosforilase, todavia, tem sido observada decrescendo com o avanço da degradação do amido (Arêas e Lajolo, 1981; Chitarra e Lajolo, 1981), indicando uma prévia presença da fosforilase na fase pré-climatérica, sem nova síntese durante o amadurecimento, e em quantidade suficiente para determinar uma rápida perda de amido durante tal processo.

Na maioria dos tecidos de armazenamento de amido não fotossintético, como a polpa da banana, a α -amilase tem sido considerada estar envolvida na iniciação da degradação do amido para produzir malto-oligossacarídeos (Beck e Ziegler, 1989). Em seguida, os malto-oligossacarídeos são degradados via rotas hidrolítica e/ou fosforolítica (Dufus e Dufus).

O exato mecanismo ou a regulação da degradação do amido em bananas não tem sido completamente explicado, frente à carência de caracterização das enzimas relacionadas ou à concentração de intermediários em tecidos da banana (Konish et al., 1991). No mais, a heterogeneidade das enzimas do metabolismo do amido torna este, um ponto altamente complexo (Beck e Ziegler, 1989).

2.6 PECTINA

A coordenada degradação de polissacarídeos pectícos e hemicelulósicos e de amido constitui-se na principal causa para o processo de amaciamento da polpa da banana (Kojima, Sakurai e Kuraishi, 1994). Existem evidências que o amaciamento do fruto durante seu amadurecimento é acompanhado pelo aumento na solubilização de substâncias pectícas na parede celular e lamela média e que um aumento no teor de pectina solúvel em água é observado com o decorrer do amadurecimento (Von Loesecke, 1950; Kawabata e Sawayama, 1974.; Lizada et al., 1990; Kojima, Sakurai e Kuraishi, 1994). Um decréscimo na protopectina e pectina total é observado durante o amadurecimento, paralelo ao aumento das pectinas solúveis na polpa da banana (Von Loesecke, 1950; Chitarra, 1979; Forsyth, 1980; Tan, Lam e Abdullah, 1986).

Segundo Israeli e Lahav (1986), um incremento no teor de pectina é observado durante o amadurecimento da banana. Na polpa, a protopectina insolúvel decresce de cerca de 0.5 para 0.3% (peso fresco) e as pectinas solúveis mostram um correspondente aumento durante o amadurecimento (Von Loesecke, 1950). A polpa da banana madura contém de 0.5 a 0.7% de pectina total (Garces Medina, 1968). Chitarra (1979), observou um teor de 1.8% de pectina total no pré-climatério de banana 'Marmelo', caindo a 1% no último estágio de maturação. O teor de pectina solúvel aumentou de 0.5 para 0.8% com o amadurecimento.

Visto que polissacarídeos pectícos e mesmo hemicelulósicos são compostos de polímeros complexos, precisas determinações dos componentes da parede celular são necessárias na elucidação dos eventos bioquímicos do amadurecimento de banana. Durante o amadurecimento de banana, o teor de ácidos urônicos totais extraídos da parede celular da polpa decresceu gradativamente até tornar-se totalmente solúvel (Wade et al., 1992). Resultados similares foram

obtidos por Wade e Satyan e Kavanagh(1993) sendo que a maioria dos ácidos urônicos de baixo peso molecular foram tidos como monômeros de ácido galacturônico. Tais observações correlacionaram-se com o amaciamento da polpa e são consistentes com a ação da exopoligalacturonase sobre os poliuronídeos da parede celular.

Os altos índices de solubilização de substâncias pecticas implicam no envolvimento das enzimas poligalacturonase e pectinametilesterase nos processos de degradação da pectina(Hultin e Levine, 1965; Brady, 1976; Ahmad e Labavitch, 1980; Lizada et al., 1990). Não obstante, face à divergência de resultados, estudos pormenorizados neste sentido ainda são exigidos no esclarecimento de tais redirecionamentos.

2.7 PECTINAMETILESTERASE (PME)

Uma das enzimas pecticas envolvidas no amadurecimento da banana é a pectinametilesterase(PME), que catalisa a desmetilação dos ésteres metílicos dos ácidos poligalacturônicos e é largamente distribuída em raízes, caules, folhas e frutos da maioria das plantas superiores(Hultin e Levine, 1965; Palmer, 1971). Markovic, Heinrichová e Lenkoi(1975) identificaram seis formas de PME por eletroforese, enquanto Hultin e Levine(1965) evidenciaram a presença de três frações da enzima na polpa da banana (fração I - extraível em água; fração II - extraível em NaCl 0.15M; fração III - extraível em NaCl 0.15M em pH alcalino). As atividades das três frações incrementaram com a mudança da cor da casca de verde para amarelo. Em seguida as frações I e II permaneceram relativamente constantes enquanto a fração III continuou aumentando sua atividade durante o período de amadurecimento em estudo.

A fração 1 (solúvel em água) aumentou quatro vezes em 'Gross Michel'(Hultin e Levine, 1965) enquanto um aumento de 3 a 8 vezes foi observado na atividade da mesma fração enzimática em bananas australianas do grupo Cavendish (Palmer, 1963).

De acordo com De Swardt e Maxie(1967) e Brady(1976), atividade da PME permanece constante durante o amadurecimento de bananas. Já Smith et al.(1990) detectaram uma queda na atividade da PME na polpa das cultivares Mundo, Sabanga Puti e Umalag, sendo que a casca da cultivar Saba apresentou a presença de dois picos, com uma ascensão inicial, uma queda e finalmente uma nova e definitiva ascensão durante o amadurecimento dos frutos.

Precauções devem ser tomadas nos estudos relativos à PME visando-se minimizar a inativação por taninos, particularmente nos frutos pré-climatéricos(Palmer, 1971). A PME de-esterifica a pectina, aumentando a solubilização da parede celular pela atuação da poligalacturonase(Pressey e Avants, 1982)

2.8 POLIGALACTURONASE (PG)

O amaciamento acompanhando a solubilização de pectina durante o amadurecimento de frutos é normalmente atribuído à hidrólise de ligações glicosídicas na protopectina por poligalacturonase (PG) (Pressey e Avants, 1982; Huber, 1983). De acordo com os mesmos autores, a ausência de PG no fruto imaturo, seu aparecimento próximo ao início do amadurecimento, e o incremento na sua atividade concomitante com a liberação de pectina solúvel durante o amadurecimento, sugerem fortemente que ela esteja implicada na solubilização da pectina.

A PG tem sido encontrada em vários frutos, tais como: tomate(Pressey e Avants, 1982; Huber, 1983); abacate(Zauberman e Schiffmann-Nadel, 1972; Awad e Young, 1979); pêssegos(Pressey, Hinton e Avants, 1971; Buesher e Furmanski, 1978); cereja(Barret e Gonzales, 1994); 'blueberry'(Proctor e Miesle, 1991).

A taxa de solubilização, por PG, é menor em galacturonanas parcialmente esterificadas que naquelas completamente de-esterificadas(Pressey e Avants, 1982). Logo, a PME, desde que em concentrações adequadas, eleva a solubilização da parede celular por PG, sendo que a magnitude desta elevação é dependente do pH.

Face à elevação dos níveis de pectina solúvel durante o amadurecimento de banana, sugere-se o envolvimento de PG, bem como da PME, nos processos degradativos da pectina(Lizada et al., 1990). Todavia, a existência desses processos em bananas não tem sido estabelecida.

Smith et al.(1990), não foram hábeis em detectar a presença de PG em quatro cultivares de banana dos grupos AAA e BBB..

A acumulação de proteínas específicas durante o amadurecimento da banana foi observado por Dominguez-Puigjaner, Vendrell e Ludevid(1992), sendo que uma dessas proteínas reagiu com um anti-soro contra poligalacturonase do tomate, sugerindo a presença de um tipo de PG na banana.

Markovic, Heinrichová e Lenkey(1975), reportaram a enzima exopoligalacturonase em banana, enzima essa, de clivagem terminal que libera monômeros sequencialmente a partir de finais não redutores de um poliuronideo(Huber, 1983). Resultados consistentes com hidrólise de poliuronideos de parede celular por exopoligalacturonase são apresentados por Wade, Satyan e Kavanagh(1993).

2.9 RADIAÇÃO

O uso da radiação ionizante na preservação de alimentos tem sido aplicado a uma grande variedade de alimentos incluindo peixes, mariscos e aves, frutos do mar, grãos, frutos e hortaliças, nozes e especiarias (Glidewell et al., 1993).

A técnica tem uma série de vantagens para os produtores, comerciantes e consumidores: a extensão da vida-de-prateleira e a melhoria na segurança dos produtos irradiados são determinados pela redução de podridões e microorganismos patogênicos, infestação de parasitas e insetos, inibição de brotamento e amadurecimento, sem o uso de aditivos químicos (Glidewell et al., 1993).

Vários tipos de radiação têm a habilidade característica para ionizar átomos ou moléculas individuais, produzindo dessa forma, um elétron e um íon carregado positivamente (Karel, 1975). Dentre as mais importantes radiações de interesse na preservação de alimentos destacam-se as ondas eletromagnéticas, incluindo os raios X e os raios γ .

As radiações ionizantes são capazes de iniciar uma vasta faixa de mudanças químicas em sistemas gasosos, líquidos e sólidos (Karel, 1975).

A água é a estrutura molecular predominante em todos os sistemas vivos e a reação primária na irradiação de alimentos é aquela entre a radiação ionizante com a água, que pode ser livre ou ligada (Glidewell et al., 1993). A partir dessa reação originam-se os seguintes intermediários (Karel, 1975; Goodman, Phail e Dhutie, 1989): água excitada (H_2O^*), radicais livres (OH^0 e H^0), moléculas de água ionizadas (H_2O^+) e elétron livre (e^-_{aq}). Esses intermediários, logo, reagem entre si e com outros componentes do sistema, dando origem a radicais secundários (H_2 , H_2O_2 , H_2O , H_3O^+ , OH).

Numerosas são as reações que esses intermediários podem sofrer com os componentes do alimento. Cada classe de constituinte alimentar, incluindo carboidratos, proteínas e outros compostos nitrogenados, óleos e gorduras, vitaminas, enzimas e pigmentos, podem reagir com, no mínimo, alguns dos intermediários, para produzir novos compostos intermediários, muitos dos quais são altamente reativos. Reações de oxidação, radicais livres e redução são de particular importância nesse respeito (Karel, 1975).

Em adição as reações mediadas pela radiólise (quebra pela radiação) da água, a radiação tem efeitos diretos e significativos sobre compostos orgânicos, especialmente em sistemas não aquosos. Em cadeias de hidrocarbono, o mais importante efeito é a abstração de um hidrogênio e a concomitante formação de um radical livre. Os radicais de hidrocarbono podem, então, sofrer uma série de reações, dentre as quais as mais importantes são as que envolvem oxigênio atmosférico ou dissolvido e ligações cruzadas (Karel).

Em polímeros, bem como em alguns compostos de baixo peso molecular, a cisão pela radiação ionizante também é possível (Karel, 1975).

A irradiação de alimentos envolve, principalmente, a exposição do produto a uma câmara de raios γ , normalmente a partir de uma fonte de ^{60}Co ou ^{137}Cs (Glidewell et al., 1993).

A unidade do sistema internacional referente à dose de radiação é o “gray”(Gy), sendo que $1\text{Gy}=1\text{J/kg}$. Esta unidade vem a substituir o rad ($=100\text{erg/g}$). Logo, 1Gy equivale à 100rad , ou $1\text{kGy}=100\text{krad}$, $10\text{kGy}=1\text{Mrad}$ (Thomas, 1986).

De acordo com Loaharanu(1994), baseado no “Comitê de especialistas em Sanidade de Alimentos Irradiados” (composto pela Organização de Agricultura e Alimentação, Agência de Energia Atômica Internacional e Organização Mundial da Saúde), a irradiação não promove nenhum efeito toxicológico em nenhum produto alimentício até uma dose média de 10kGy e

alimentos irradiados até este limite de dose não mais precisam ser analisados sob este contexto. Logo, um tratamento de 10kGy (que é o nível máximo permitido para uso comercial) é o suficiente para produzir um alto índice de destruição microbiana, sendo que doses significativamente menores são suficientes para o controle do amadurecimento de frutos (0.2-0.5kGy)(Advisory Committee on Irradiated and Novel Foods, 1986, citado por Glidewell et al., 1993).

A despeito dos benefícios proporcionados pela radiação, alguns impecilios comprometem sua plena utilização: -regulamentações governamentais; -interesse de indústrias incluindo disponibilidade econômica; -concordância do mercado internacional; -aceitação, por parte do consumidor, de alimentos irradiados.

2.10 RADIAÇÃO EM BANANAS

A radiação gama a baixas doses tem sido apresentada como incrementadora da vida pós-colheita de bananas, pelo retardo dos processos de amadurecimento e senescência(Thomas, 1986). Segundo o mesmo autor, a dose ótima para inibição do amadurecimento e a máxima que os frutos podem tolerar parecem diferir entre cultivares e mesmo pelas mesmas cultivares cultivadas em diferentes áreas geográficas. Todavia, frutos das cultivares Dwarf Cavendish, Giant Cavendish, Fill Basket, Red, Gros Michel, French Plantain, quando irradiados no estádio pré-climatérico a doses entre 0.15 e 0.50kGy apresentam um apreciável retardamento no amadurecimento, sem afetar sua qualidade(Maxie et al., 1968; Khan e Muhammed, 1969; Thomas, Dharkar e Sreenivasan, 1971; Strydom e Whitehead, 1990; Strydom, Van Standen e Smith, 1991). Doses acima de 0.50kGy, normalmente, determinam um escurecimento e rachaduras ocasionais na casca

durante o armazenamento das mesmas cultivares (Fergusson et al., 1966; Thomas et al., 1971; Broderick e Strydom, 1984)

Strydom e Whitehead (1990) e Strydom, Van Standen e Smith (1991), observaram que doses acima de 0.2 kGy determinaram desenvolvimento de cor e mudanças na produção de etileno e CO₂ indesejáveis, bem como colapso na estrutura da casca, resultando em graves danos ao tecido. Já, Broderick e Strydom (1984), conseguiram bons resultados com doses de 0.6 kGy, para uma cultivar que não identificaram.

A maturidade de bananas na época da colheita influencia o retardo do amadurecimento induzido pela irradiação, salientando-se que variações na maturidade dos frutos também existem dentro de um mesmo cacho (Kahan et al., 1968; Thomas, Dharkar e Sreenivasan, 1971).

Thomas, 1986 estabeleceu que para que a radiação γ iniba o amadurecimento de banana, os frutos devem ser tratados ainda no estágio pré-climatérico e constatou ainda que o estágio fisiológico também determina a capacidade do fruto em resistir a doses maiores de radiação.

2.10.1 RESPIRAÇÃO E ETILENO (C₂H₄)

Níveis ótimos de radiação, visando-se a extensão da vida pós-colheita de bananas pré-climatéricas retardam o início da ascensão climatérica em termos de respiração, bem como a ocorrência do pico climatérico, sendo a extensão deste atraso dependente da maturidade do fruto no momento da irradiação (Thomas, 1986). Aqueles frutos irradiados em estádios mais precoces de maturação apresentam um máximo retardamento no início do climatério respiratório, sendo que o tempo requerido para que frutos irradiados e não irradiados alcancem o pico respiratório após o início climatérico é similar (Thomas, Dharkar e Sreenivasan, 1971).

Chachin e Kato(1965) e Ogata e Chachin(1969), observaram um notável incremento na evolução de CO_2 em bananas expostas a 0.05 a 0.50kGy. Strydom e Whitehead(1990), observaram um efeito supressivo da radiação γ a 0.2 a 1.0kGy sobre a produção de CO_2 , para a cultivar Dwarf Cavendish, sendo que resultados similares são apresentados por Murata(1969 para a cultivar Giant Cavendish.

Surendranathan e Nair(1980) sugerem que os eventos que se seguem à aplicação de radiação γ em bananas pre-climatericas alteram as vias metabólicas de tal maneira que a produção de energia seja reduzida. Segundo estes autores, existe uma predominância da via hexose-mono-fosfato em bananas irradiadas. Este fato, associado com a ativação de fosfatases como a frutose di-fosfatase e frutose 6-fosfatase, restringe a entrada de ésteres açúcar-fosfato ao ciclo de Krebs por oxidação. O ciclo de Krebs é também afetado pela inibição da desidrogenase succinica. Mas, a ativação da via alternativa do glioxilato ajuda a manter os níveis dos intermediários do ciclo de Krebs como o citrato e malato, embora a produção de energia seja reduzida. Finalmente, a ativação da via gliconeogênica ajuda na canalização de metabólitos de volta a açúcares. Todas essas mudanças causam uma considerável depressão na produção de ATP.

Maxie et al.(1968) postularam que a inibição do amadurecimento causada pela irradiação envolve um decréscimo na sensibilidade à ação do C_2H_4 . Também sugeriram a possibilidade de que a irradiação afete o amadurecimento pela alteração da capacidade do C_2H_4 se complexar com metais endógenos, um mecanismo originalmente proposto por Burg e Burg(1967) para a ação do C_2H_4 no amadurecimento.

Strydom e Whitehead(1990), observaram que bananas irradiadas a 0.2kGy apresentavam uma redução na sua sensibilidade a seu próprio C_2H_4 endógeno. Doses de 0.2 e 0.4kGy resultaram num aumento da síntese de C_2H_4 durante o pico climatérico. Um aumento na

síntese de C_2H_4 em resposta à diferentes doses de radiação também foi observada por Khan e Muhammed(1969). Um considerável decréscimo na sensibilidade ao C_2H_4 aplicado exogenamente foi evidente em frutos expostos a radiações entre 0.6 e 1.0kGy (Strydom, Van Standen e Smith, 1991).

2.10.2 AMIDO E AÇÚCARES

O amadurecimento da banana é caracterizado por um aumento no teor de açúcares solúveis em decorrência da degradação do amido. A utilização da radiação γ em doses adequadas determina uma redução na taxa de hidrólise do amido, embora, quando maduro, os níveis de açúcares do fruto possam alcançar valores similares àqueles de frutos não tratados(Thomas, 1986).

Nas cultivares Red e Fill Basket os teores de açúcares redutores e totais mostraram uma íntima correlação em frutos irradiados (0.25 e 0.40kGy) e não irradiados(Thomas, Van Standen e Smith, 1971). Os mesmos autores observaram que frutos irradiados a 0.35kGy de 'Giant Cavendish' apresentaram menores teores de açúcares e sólidos solúveis totais que frutos controle, em estádios similares de coloração, sugerindo que a hidrólise de amido a açúcares em bananas irradiadas não progrediu no mesmo índice que em bananas não irradiadas. Bananas cultivadas no Taiwan, irradiadas a 0.20; 0.30 e 0.50kGy e armazenadas entre 25 e 30^oC, ou entre 12 e 20^oC apresentaram um semelhante decréscimo na taxa de degradação do amido e formação de açúcares(Kao, 1971). Em bananas 'Poyo' irradiadas a 0.20; 0.35; 0.50 e 1.00kGy, Rocketti e Denti(1971) observaram um decréscimo na hidrólise do amido nas menores doses, enquanto a síntese de sacarose aumentou nas doses maiores.

Uma determinação de açúcares redutores em bananas irradiadas e não irradiadas mostrou, para os frutos irradiados, uma alta concentração de frutose na fase pré-climatérica(Surendranathan e Nair, 1973). Com o início do amadurecimento, os frutos não irradiados apresentaram um incremento no teor de frutose numa taxa bem mais rápida. Os autores associaram a acumulação inicial da frutose na banana irradiada a uma mudança na utilização da glicose da via glicolítica para a via pentose fosfato.

De acordo com Surendranathan e Nair(1973), estudos enzimáticos apresentaram um aumento na fosforilase, fosfoglucomutase, glicose 6-fosfato desidrogenase e frutose 6 fosfatase e um decréscimo na hexoquinase em banana irradiada.

O retardo no amadurecimento de bananas está associado com uma alteração no metabolismo de carboidratos. Além disso, a interferência na entrada e saída de energia a partir do metabolismo de carboidratos pela regulação de certas enzimas chave das vias glicolítica, gliconeogênica e ciclo de Krebs é uma das principais razões responsáveis para o retardo no amadurecimento de bananas induzido pela radiação γ (Surendranathan e Nair, 1980).

2.10.3 PECTINAS

Mudanças texturais estão intimamente relacionadas à degradação de pectina na polpa da banana. Reduções na firmeza podem ocorrer após a irradiação, mas estas mudanças são muito menos pronunciadas que aquelas que ocorrem durante o amadurecimento do fruto(Thomas, 1986).

Thomas, Dharkar e Sreenivasan(1971) observaram que a extensão do amaciamento induzido pela radiação oscilou entre cultivares. Doses até 0.50kGy afetaram pouco a textura do

fruto, enquanto, doses acima de 0.50kGy determinaram uma considerável perda da firmeza, em decorrência da despolimerização e conversão de protopectina em pectina solúvel. Resultados similares foram encontrados por Maxie et al., 1968.

Pêras e pêssegos expostos à radiação γ apresentaram redução da firmeza correspondente a um decréscimo no teor de protopectina e um aumento no teor de pectina solúvel nos frutos (Somogyi e Romani, 1964). A pectinametilesterase (PME) apresentou um aumento na atividade imediatamente após a irradiação dos frutos, sendo que, quatro dias após a irradiação, tiveram sua atividade reduzida.

Mangas irradiadas apresentaram maiores atividades de PME que não irradiadas durante o amadurecimento, sendo que as alterações nas frações pécicas e na atividade de PME foram mais pronunciadas imediatamente após a irradiação em comparação àquelas que ocorrem durante o amadurecimento (Thomas, 1986).

A de-esterificação da pectina levando a um aumento do ácido pécico foi observado em mamões γ -irradiados (Hilker e Young, 1966). Esta de-esterificação aumentou com a elevação da dose, indicando que houve um efeito direto da irradiação sobre as pectinas. Em outro estudo (Cabrera et al., 1971), a atividade da PME em mamões irradiados mostrou-se maior após sete dias e decresceu após 14 dias, quando comparada a dos tratamentos controle.

Trabalhando com morangos γ -irradiados, d'Amour et al. (1993), observaram um amaciamento dos frutos associado com uma parcial degradação de polissacarídeos da parede celular, particularmente, celulose e substâncias pécicas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 GEOGRAFIA, CLIMA E SOLO

Os frutos utilizados no presente trabalho foram colhidos na fazenda Santa Clara, município de Santo Antônio do Amparo, Minas Gerais, localizado a $20^{\circ}56'40''$ de latitude Sul e $44^{\circ}55'$ de longitude W.Gr., a 1013m de altitude (IBGE, 1958). De acordo com dados coletados de 1961-1990 pela estação meteorológica de Lavras, estação mais próxima de Santo Antônio do Amparo, as seguintes médias anuais podem ser observadas: temperatura média = 19.4°C ; precipitação total = 1529.7 mm; umidade relativa = 76.2%; e insolação total = 2483.4 h (Brasil, 1990). Conforme a mesma estação meteorológica, os valores observados de dezembro de 1993 a abril de 1994, período entre o florescimento e a colheita dos frutos, foram os seguintes: temperatura média = 22.0°C ; precipitação total = 1177.8 mm; umidade relativa = 78.3%; e insolação total = 906 horas.

A análise de solo, realizada no início do período de florescimento, do terreno onde o bananal encontrava-se instalado mostrou ser o mesmo argiloso, com acidez elevada (pH em água), altos teores de P e K, baixos teores de Mg e Al e médios teores de (H+Al), C e matéria

orgânica, à profundidade de 0-50 cm; já teores médios e baixos de Ca foram observados de 0-25 cm e de 25-50 cm de profundidade do solo, respectivamente.

3.2 COLHEITA E PREPARAÇÃO DOS FRUTOS

Cachos de bananas da cultivar Prata foram colhidos pela manhã, com 138 dias de idade a partir do completo lançamento floral. Os frutos foram despencados (12 a 15 frutos com diâmetro médio de 36 mm) e as pencas imediatamente imersas em solução de hipoclorito de sódio a 0.3%. Em seguida os frutos foram lavados em solução detergente (ODD a 1.5%) e imersos em solução de Benomyl (0.1%) por 1min. Foram selecionados apenas os frutos da segunda e terceira pencas. Após secagem ao ar, em galpão com temperatura média de 22^oC, os frutos foram acondicionados em caixas de papelão ventiladas e transportados para o Centro de Energia Nuclear, em Piracicaba, SP, durante a noite, sob uma temperatura média de 21^oC.

Os frutos foram irradiados num irradiador "ammabeam 650" (atomic energy of Canada limited) sob fonte de ⁶⁰Co. As doses utilizadas foram de 0.25 e 0.50kGy numa taxa de dose de 0.997kGy.h⁻¹. No momento da irradiação, os frutos foram acondicionados em recipiente de alumínio, sendo que a temperatura do aparelho foi da ordem de 30^oC.

Os frutos, após irradiação, foram mantidos em sala refrigerada a 15-17^oC por dois dias, e transportados, sob uma temperatura média de 19^oC para o Departamento de Ciência dos Alimentos da Escola Superior de Agricultura de Lavras.

Algumas pencas foram separadas em buquês de 4-6 frutos, tratados com benomyl (0.1%) por 1min e colocadas em cubas de maturação, mantidas em sala com temperatura controlada (19-20^oC), para análise do comportamento respiratório e evolução do etileno (C₂H₄).

As cubas utilizadas eram dessecadores preparados com dispositivos para circulação contínua de ar. Cada cuba possuía um volume interno de 9.2 litros e recebeu, três buquês de 400g cada, em média. Anteriormente ao acondicionamento dos frutos, as cubas sofreram um processo de desinfestação com solução comercial de hipoclorito de sódio (2% de Cl ativo).

O fluxo de ar nas cubas foi da ordem de 10 litros/h. O ar obtido de um compressor era purificado pela passagem por uma solução de KOH a 20%, em seguida por uma solução de HgClO_4 a 5% e finalmente em solução de KOH a 7%.

Os demais frutos, mantidos nas respectivas caixas de papelão, em sala com temperatura controlada (19 a 20°C), foram submetidos às respectivas análises (física, químicas e bioquímicas) respeitando-se o seu grau de coloração que foi monitorado face a um quadro de cores (Dole bananas), que variou de 2 a 7 (G2- verde claro; G3- 50% verde e 50% amarelo; G4- mais amarelo que verde; G5- amarelo com extremidades verdes; G6- totalmente amarelo; G7- amarelo com manchas marrons).

O grau 1 de coloração não foi utilizado visto os frutos da bananeira 'Prata' não apresentarem este tom de coloração, nem mesmo no campo, em estádios precoces de desenvolvimento.

3.3 ANÁLISES FISIOLÓGICAS

A medição do **dióxido de carbono (CO_2)** produzido pelos frutos foi realizada pela conexão da saída de gases das cubas à erlenmeyers contendo NaOH 1N, pelo período de 1h, e posterior titulação com HCl 1N, segundo Thomas, Dharkar e Sreenivasan (1971). Os resultados foram expressos em $\text{mg CO}_2\text{Kg}^{-1}\text{fruto.h}^{-1}$.

Com relação ao **etileno (C₂H₄)**, amostras de gases (10ml) foram tomadas, nas cubas, através de uma seringa, após 1h de repouso, e injetadas diretamente no cromatógrafo.

As determinações de C₂H₄ foram realizadas em cromatógrafo a gás, modelo 2800 da Varian Aerograph sob as condições a seguir: coluna de Porapak operada a 50^oC; detector de ionização de chamas à 110^oC, e injetor à 130^oC. O fluxo de ar foi da ordem de 400ml/min enquanto o fluxo de hidrogênio e nitrogênio girou em torno de 35ml/min. A sensibilidade utilizada durante o experimento foi de 10⁻¹² e a atenuação 1.

Os resultados foram obtidos a partir da comparação das áreas com o padrão de 0.86ppm, nas mesmas condições, de acordo com Ciola(1973).

3.4 ANÁLISES FÍSICA E QUÍMICAS

A **relação polpa casca** foi obtida pela pesagem individual da polpa e casca dos frutos, com auxílio de balança semi-analítica.

O **amido** presente nos frutos foi extraído e degradado enzimaticamente à glicose segundo técnica de Arêas e Lajolo(1978) e doseado, espectrofotometricamente, pelo método de antrona(Dische, 1955; 1962). A determinação foi feita a 620nm e os resultados expressos em g de glicose por 100g de polpa fresca (x 0.9).

Os **açúcares solúveis** totais foram determinados, espectrofotometricamente, à 620nm, pelo método de antrona(Dische, 1955, 1962) e expressos como g de glicose por 100g de polpa fresca.

As **pectinas, total e solúvel**, foram extraídas segundo técnica preconizada por Mc Cready e Mc Comb(1952). A determinação quantitativa dos ácidos urônicos foi feita pelo método

do m-fenilfenol, de acordo com Blumenkrantz e Asboe-Hansen(1973). Os resultados foram expressos em g de ácido galacturônico por 100g de polpa fresca.

3.5 ANÁLISES BIOQUÍMICAS

A extração enzimática foi feita segundo técnica de Buecher e Furmanski(1978), com algumas modificações. 10g de polpa do fruto foram homogeneizadas em 40ml de água destilada gelada, com polivinilpirrolidona, em politron. O homogenato foi filtrado em tecido fino (organza) e o resíduo foi ressuspendido em 40ml de NaCl 1M, gelado. O pH foi ajustado para 6.0 com NaOH e o novo homogenato foi incubado à 4^oC por 1h. Fez-se nova filtragem em gase e o filtrado foi centrifugado refrigeradamente a 5000 x g, por 30min. Uma terceira filtragem foi realizada com papel de filtro e o filtrado foi congelado e utilizado posteriormente para a determinação enzimática.

No **doseamento** para a determinação da atividade da **pectinametilesterase (PME)** foi utilizada a técnica de Hultin, Sun e Bulger, 1966 e Ratner et al., 1969, com modificações, que se segue:

4ml de extrato enzimático foram adicionados sobre 30ml de pectina citrica 1% em NaCl 0.1M. O pH da solução foi mantido na faixa de 7.0 por 10min com NaOH 0.01N.

Uma unidade de PME foi definida como a quantidade de enzima capaz de catalizar a desmetilação de pectina correspondente ao consumo de 1nmol de NaOH por minuto, sob as condições de ensaio.

PG = igual

Para a determinação da atividade da **poligalacturonase(PG)** utilizou-se a técnica de Markovic, Heinrichová e Senkey(1975), com modificações, descrita a seguir:

Uma alíquota de 50µl de pectina cítrica a 0.25% foi adicionada em um tubo de ensaio junto à 200µl de extrato enzimático. O tubo foi incubado a 30°C por 3h em banho maria e a reação interrompida em banho fervente por 3min.

Num segundo tubo, uma alíquota de 200µl de extrato foi pipetada e as enzimas desnaturadas em banho fervente por 3min. Em seguida 50µl de pectina cítrica a 0.25% foram adicionados. Doseou-se, então, o teor de açúcares redutores, em ambos os tubos, segundo método de Somogyi modificado por Nelson(1944). Por diferença, obteve-se a concentração de açúcares redutores formados, exclusivamente, pela ação enzimática.

Uma unidade de atividade de PG foi definida como a quantidade de enzima capaz de catalisar a formação de 1nmol de açúcar redutor por minuto sob as condições de ensaio.

3.6 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA

O experimento baseou-se em um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial duplo, com três repetições, diferindo-se a variável relação polpa/casca das demais, com seis repetições. Os fatores consistiram de graus de coloração da casca(2-7) doses de radiação (0.00; 0.25; 0.50kGy). A amostragem foi realizada aleatoriamente, sendo que cada parcela constituiu-se de dois frutos.

Para as variáveis CO₂ e C₂H₄, as médias, tomadas no tempo (horas), foram obtidas a partir de duas repetições e cada parcela constituiu-se de três buquês de quatro a cinco frutos, acondicionados em cubas de maturação.

A estatística foi realizada através de análise de variância e teste de Tukey para comparação de médias, segundo métodos usuais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 COLORAÇÃO

A mudança de coloração, durante a maturação, ocorreu normalmente para todos os frutos submetidos aos três tratamentos em estudo, muito embora as diferentes parcelas tenham requerido tempos distintos para atingirem graus de coloração similares.

A radiação γ , nas doses estudadas (0.25 e 0.50kGy), não afetou a coloração normal da casca. De acordo com Fergusson et al.(1966), Thomas, Dharkar e Sreenivasan(1971) e Broderick e Strydom(1984), baseados em estudos com cultivares diferentes da 'Prata', doses acima de 0.50kGy, determinam, normalmente, escurecimento e rachaduras ocasionais na casca durante o armazenamento, o que compromete a qualidade dos frutos, fato não observado nos frutos da bananeira 'Prata' analisados neste experimento..

4.2 RESPIRAÇÃO E ETILENO (C₂H₄)

O comportamento durante a maturação da banana 'Prata', neste estudo, confirma o padrão climatérico de respiração, em termos de dióxido de carbono (CO₂) e etileno (C₂H₄)

estabelecido para outras cultivares (Von Loesecke, 1950; Young, Romani e Biale, 1962; Palmer, 1971; Abdullah et al., 1990), conforme dados apresentados nas Tabelas 1 e 2 e Figura 1.

Os valores observados no presente trabalho em torno de $20 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{fruto} \cdot \text{h}^{-1}$, na fase pré-climatérica e de 107 a $129 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{fruto} \cdot \text{h}^{-1}$ no pico climatérico estão de acordo com a amplitude apresentada por Palmer (1971) de 8 a 50 e 60 a $250 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{fruto} \cdot \text{h}^{-1}$, respectivamente, bem como pelo aumento proposto pelo mesmo autor de 4 a 10 vezes entre a fase pré-climatérica e o pico climatérico. Todavia, Carvalho (1984), observou picos da ordem de $65 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{fruto} \cdot \text{h}^{-1}$, para banana 'Prata', valores substancialmente inferiores aos apresentados neste trabalho.

A ascensão respiratória na banana 'Prata' teve início na passagem dos graus 2 para 3 de coloração, com o pico sendo atingido no grau 4, sugerindo-se uma conseqüente oxidação de carboidratos, discutida "a posteriori". A modificação de coloração da casca associada ao climatérico é condizente às afirmações de Von Loesecke (1950) e Young, Romani e Biale (1962) de que no auge da atividade respiratória, uma mudança de verde para amarelo começa a ser visível na casca da banana.

A evolução de C_2H_4 observada poucas horas antes da ascensão climatérica (Figura 2) confirma a afirmação de Dominguez e Vendrell (1993) de que no amadurecimento de bananas o aumento na produção de C_2H_4 ocorre pouco antes do climatérico respiratório. Segundo Brady e Speirs (1991), o climatérico respiratório é uma conseqüência direta das concentrações aumentadas de etileno interno. Todavia, a dúvida do C_2H_4 como iniciador ou acelerador do amadurecimento ainda perdura.

TABELA 1 - Valores médios de dióxido de carbono ($\text{mgCO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{fruto} \cdot \text{h}^{-1}$) produzido por banana 'Prata' gama irradiada, durante a maturação

TEMPO(DIAS)	DOSES DE RADIAÇÃO(kGy)		
	0.00	0.25	0.50
1	29.70 G2*	20.58 G2*	21.34 G2*
2	25.84	31.42	21.34
3	24.51	29.73	18.29
4	17.50	20.44	18.29
5	17.50	17.27	21.73
6	19.25	18.97	20.20
7	17.50	20.44	17.69
8	19.25	17.50	17.69
9	19.25	15.80	21.73
10	19.25	17.50	16.17
11	19.25	17.50	16.17
12	16.62	18.97	16.17
13	18.37	17.50	17.69
14	31.50	17.50	19.21
14.5	36.73	20.88	23.52
15	52.48	22.57	44.99
15.5	72.64	30.58	55.88
16	80.32 G3*	48.08	69.77
16.5	94.06	52.93	76.56 G3*
17	106.05	65.35	88.98
17.5	128.97 G4*	79.97 G3*	106.67 G4*
18	118.47	96.42	88.13
18.5	107.96 G5*	117.43 G4*	74.80 G5*
19	102.58	99.58	65.99
19.5	86.16	89.78	68.05
20	64.62 G6*	77.32 G5*	71.82 G6*
20.5	66.76	75.11	65.46
21	58.97	68.02	71.82
21.5	58.97	60.44	67.96
22	59.64	54.43 G6*	65.44
22.5	56.41 G7*	56.02	72.99
23	61.79	62.16 G7*	52.86
23.5	66.91	66.58	50.34
24	62.13	62.64	45.31 G7*
24.5	62.13	64.45	52.86

* G=grau de coloração da casca

TABELA 2 - Valores médios de etileno ($\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ fruto.h}^{-1}$) produzido por banana 'Prata' gama irradiada, durante a maturação

TEMPO (6/6h) tempo 0=324h	DOSES DE RADIAÇÃO (kGy)	
	0.00	0.25
1	0.502 G2*	
2	1.569	
3	2.858	
4	4.880	0.947 G2*
5	4.880	1.634
6	7.090	2.451
7	9.992	6.583
8	6.326	8.893
9	6.302 G3*	2.993
10	4.992	22.191
11	3.508	12.401
12	4.045	7.249
13	2.500	3.788
14	2.276	3.661 G3*
15	2.075 G4*	2.395
16	2.500	2.423
17	1.735	2.395
18	1.820	2.711 G4*
19	1.826 G5*	1.996
20	1.820	2.074
21	1.460	2.440
22	1.820	2.440
23	1.643	2.440
24	1.643	2.440 G5*
25	2.055 G6*	2.440
26	2.055	2.639

* G=grau de coloração da casca

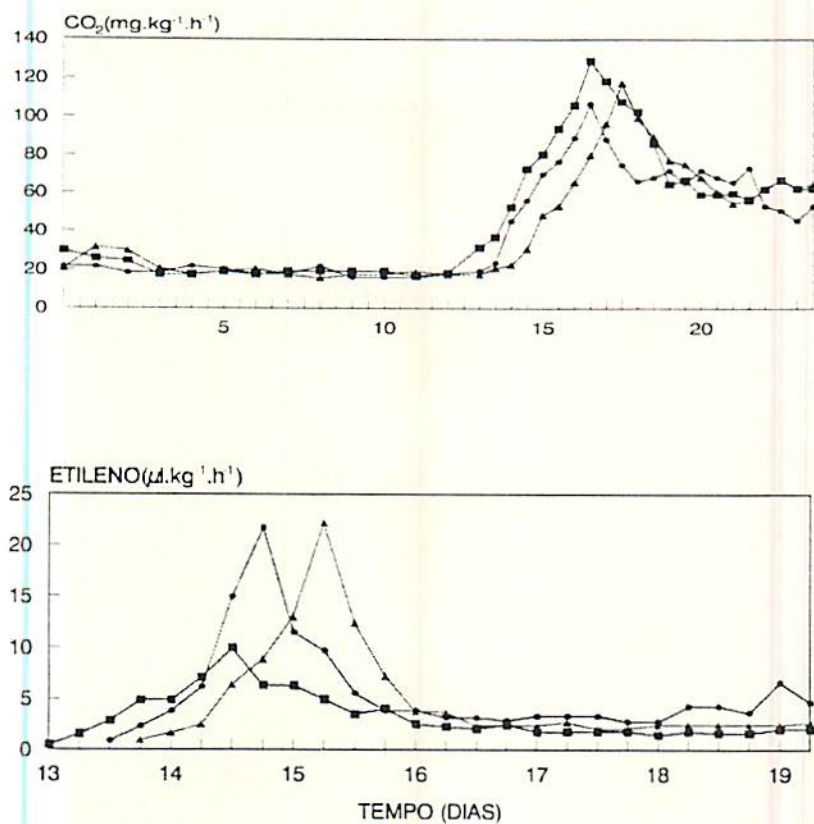


FIGURA 1 Evolução de dióxido de carbono (CO₂) e etileno (C₂H₄) durante a maturação de banana 'Prata' gama irradiada

0.00kGy - ■; 0.25kGy - ▲; 0.50kGy - ●

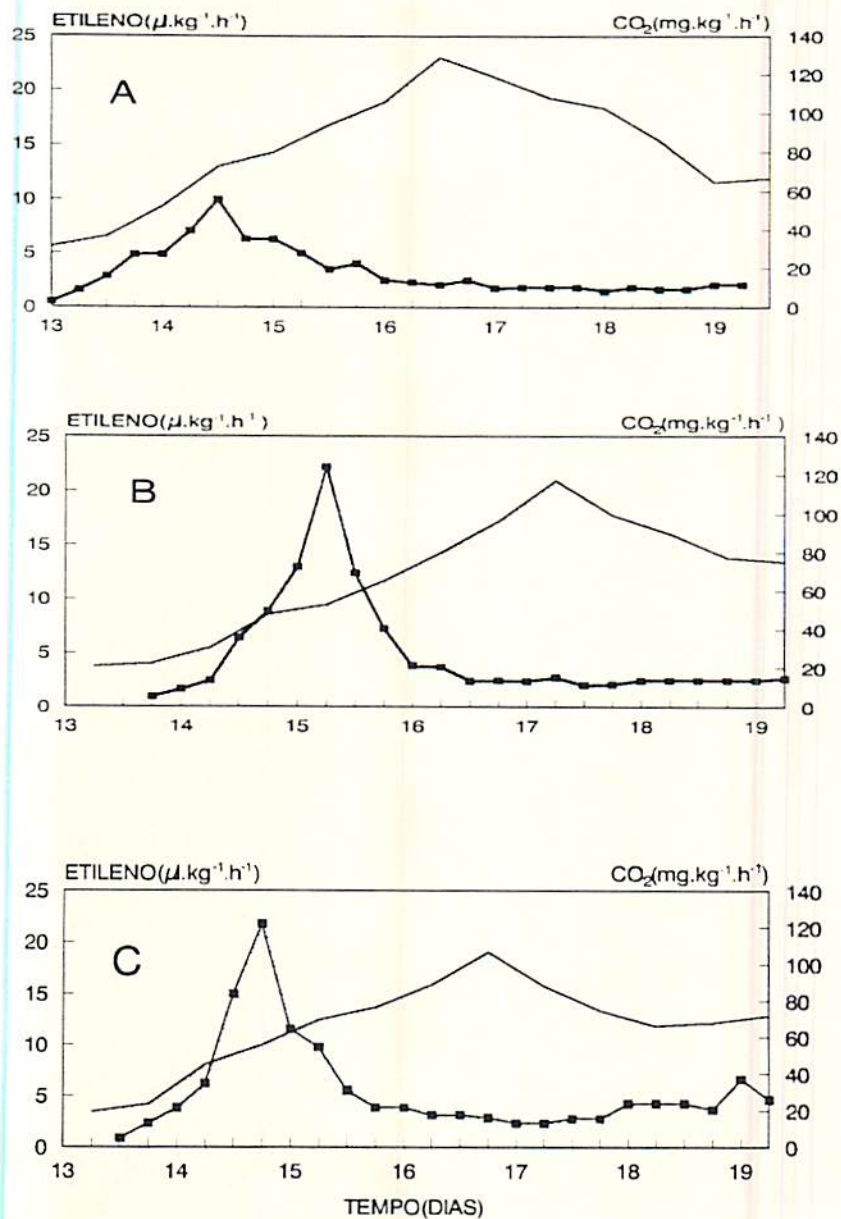


FIGURA 2 Evolução de etileno (C₂H₄ - ■) x dióxido de carbono (CO₂ -) durante o climatério de banana 'Prata' gama irradiada

A=0.00kGy; B=0.25kGy; C=0.50kGy

Abeles, Morgan e Salveit(1992) associaram ao C_2H_4 o surgimento e incremento na atividade de várias enzimas, durante o amadurecimento, responsáveis pelo amarelecimento, amaciamento, respiração e sua produção autocatalítica, a exemplo: poligalacturonase, α -amilase, clorofilase, citocromo C redutase. De fato, como pôde ser observado neste trabalho, a evolução do C_2H_4 antecipou-se às mudanças de coloração da casca, ascensão climatérica, degradação do amido, ativação de PME e PG e solubilização de pectinas.

O pico de $10\mu\text{l } C_2H_4.kg^{-1}fruto.h^{-1}$ obtido para o tratamento controle é pertinente ao apresentado por Strydom e Whitehead(1990), para 'Dwarf Cavendish', também da ordem de $10\mu\text{l}$. Murata(1969), apresenta um pico em torno de $16\mu\text{l } C_2H_4.kg^{-1}fruto.h^{-1}$ para frutos da cultivar Giant Cavendish mantidos a $20^{\circ}C$, superior ao observado no presente trabalho. Dominguez e Vendrell(1993) trabalhando com 'Dwarf Cavendish' e Khan e Muhammed(1969) com 'Basri' encontraram picos da ordem de 4 e $5\mu\text{l } C_2H_4.kg^{-1}fruto.h^{-1}$, respectivamente, portanto, bem inferiores aos encontrados neste trabalho.

A radiação γ nas doses de 0.25 e 0.50kGy e taxa de dose de $0.997kGy.h^{-1}$ estudadas, não estenderam, aparentemente, a fase pré-climatérica dos frutos, quando comparados com os frutos controle, visto que o início da ascensão de C_2H_4 e CO_2 e seus respectivos picos ocorreram em épocas próximas. Tais resultados divergem daqueles apresentados por Thomas(1986), em sua vasta revisão sobre irradiação em bananas, de que a radiação γ estende a vida pós-colheita de bananas pelo retardo na ascensão climatérica e respectivos picos (CO_2 e C_2H_4). Todavia, os resultados apresentados por Thomas(1986), referem-se a cultivares outras que não a 'Prata' e a taxas de dose superiores à utilizada no presente trabalho. O autor cita a ineficiência da radiação γ sobre a inibição do amadurecimento de bananas a partir de três trabalhos consultados, sugerindo

tal ineficiência a um provável estágio pré-climático avançado no momento da irradiação. Para que a radiação γ surta efeito, os frutos devem ser tratados na fase pré-climática. É visualmente claro que os frutos utilizados no presente estudo se apresentavam em tal fase, face ao prolongado intervalo entre a colheita e o climatério, superior a 16 dias.

Os resultados aqui obtidos apresentam uma redução na taxa respiratória de $129\text{mg CO}_2\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{fruto}\cdot\text{h}^{-1}$ para os frutos não irradiados, para 117 e $107\text{mg CO}_2\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{fruto}\cdot\text{h}^{-1}$ para os frutos submetidos a 0.25 e 0.50kGy , sem contudo uma extensão na vida pós-colheita. Um efeito supressivo na produção de CO_2 pela radiação γ a 0.2 ; 0.4 ; 0.6 ; 0.8 e 1.0kGy e taxa de dose de $7.35\text{kGy}\cdot\text{h}^{-1}$ também foi obtido por Strydom e Whitehead(1990) para bananas 'Dwarf Cavendish', todavia com prolongamento da fase pré-climática.

As doses de 0.25 e 0.50kGy , aqui estudadas, aumentaram o pico de C_2H_4 da banana 'Prata' em cerca de 120% , com relação ao controle. Aumentos na síntese de C_2H_4 também foram observados durante o climatério de bananas submetidas a diferentes doses de radiação(Khan e Muhammed, 1969 e Strydom et al., 1991). O virtual aumento na síntese de C_2H_4 associado com a aparente redução na produção de CO_2 dos frutos γ -irradiados do presente trabalho sugere uma possível redução na sensibilidade de tais frutos a seu próprio C_2H_4 endógeno, uma vez que o C_2H_4 estimula o climatério respiratório de bananas e que este fenômeno está associado a uma mudança no metabolismo da via hexose-mono-fosfato para a via glicolítica, aumentando, portanto, a emissão de CO_2 (Surendranathan e Nair, 1980; Beaudry et al., 1987). Fato semelhante foi reportado por Strydom e Whitehead(1990) para bananas irradiadas a 0.2kGy .

4.3 RELAÇÃO POLPA/CASCA

A relação polpa/casca dos frutos analisados mostrou-se significativamente afetada ($P=0.01$) pela interação entre as doses de radiação e os graus de coloração (Tabela 3).

Observou-se um previsível aumento na relação polpa/casca dos frutos, em decorrência da perda de umidade da casca, com o transcorrer da maturação. Em média, a relação variou de 1.1 a 2.7, valores próximos aos apresentados para banana 'Prata' de 1.2 a 2.7 (Pinto, 1978; Rossignoli, 1983; Carvalho et al., 1988a).

Não foram observados efeitos da radiação γ , nas doses estudadas, sobre a relação polpa/casca nos graus 3 e 4 de coloração da casca. Todavia, para os demais, o efeito foi visível. A dose 0.25kGy de radiação determinou o maior incremento na relação polpa/casca a partir do grau 5 de coloração. Um incremento imediato nos frutos, no grau 2 de coloração, submetidos a 0.50kGy foi observado, provavelmente, devido a ação estressante da dose, face à sua magnitude.

Uma correlação entre a relação polpa/casca e evolução de CO_2 é observada pela Figura 3. A degradação de polissacarídeos de reserva resulta na redução do potencial osmótico das células da polpa e liberação de CO_2 e água. O aumento na relação polpa/casca, determinado pelas perdas transpiracionais e osmóticas de água da casca, se correlacionam bem com a evolução de CO_2 , se manifestando de maneira mais pronunciada após o pico respiratório. Obviamente as perdas osmóticas de água da casca, direcionadas para o equilíbrio hídrico da polpa, demandam certo tempo.

TABELA 3 - Valores médios de relação polpa/casca(P/C), amido e açúcares solúveis totais(A.S.T) de banana 'Prata' gama irradiada, em seis graus de coloração da casca

DOSES DE RADIAÇÃO (kGy)	GRAUS DE COLORAÇÃO DA CASCA					
	2	3	4	5	6	7
RELAÇÃO POLPA/CASCA(P/C)						
0.00	1.09 B	1.39 A	1.48 A	1.35 B	1.64 C	2.53 B
0.25	1.07 B	1.37 A	1.48 A	1.73 A	2.04 A	2.94 A
0.50	1.25 A	1.39 A	1.51 A	1.64 A	1.84 B	2.57 B
CV=6.05%						
AMIDO (g glicose/100g polpa fresca x 0.9)						
0.00	21.45 NS	7.81 NS	3.80 NS	2.74 NS	1.70 NS	1.74 NS
0.25	21.61 NS	8.84 NS	4.49 NS	2.15 NS	1.78 NS	1.64 NS
0.50	20.94 NS	8.58 NS	4.24 NS	3.06 NS	2.05 NS	1.74 NS
MÉDIA	21.33 a	8.41 b	4.18 c	2.65 d	1.84 d	1.71 d
CV=13.06%						
AÇÚCARES SOLÚVEIS TOTAIS (A.S.T.)(g glicose /100g de polpa fresca)						
0.00	0.58 A	8.10 B	13.94 A	14.90 C	18.94 AB	20.14 A
0.25	1.11 A	8.64 B	13.77 A	18.92 A	18.71 A	19.08 AB
0.50	1.83 A	11.27 A	14.01 A	16.46 B	17.14 B	18.15 B
CV=5.96%						

Médias seguidas de mesmas letras, maiúsculas na vertical, ou minúsculas na horizontal, não diferem entre si ao nível de 5% significância (Teste de Tukey).

NS=não significativo ao nível de 5% de significância

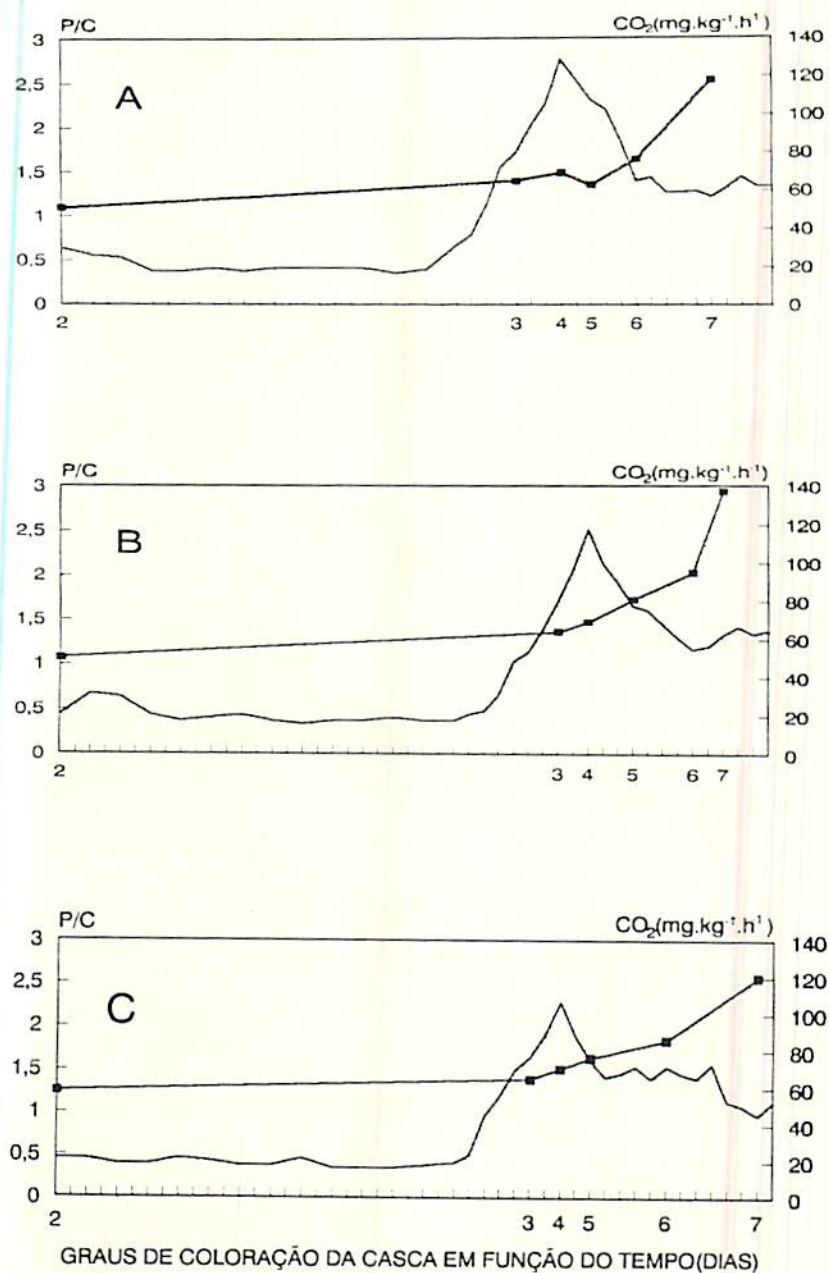


FIGURA 3 Relação polpa/casca (P/C - ■) x dióxido de carbono (CO_2 -) durante o climatério de banana 'Prata' gama irradiada

A=0.00kGy; B=0.25kGy; C=0.50kGy

4.4 AMIDO E AÇÚCARES

As mudanças nos teores de amido e açúcares solúveis totais na polpa da banana decorrentes da sua maturação são apresentados na Tabela 3.

Com relação ao amido, não observou-se efeito significativo do fator dose de radiação ($P=0.05$), nem tampouco uma interação significativa ($P=0.05$) entre os fatores dose de radiação e grau de coloração da casca.

Todavia, o grau de coloração determinou uma mudança apreciável na variável avaliada ($P=0.01$). Pode-se observar uma redução no teor de amido, do grau 2 ao 5, com posterior estabilização, sendo a queda mais drástica entre os graus 2 e 3 de coloração. Tal observação é concordante com a observação de Von Loesecke(1950), de que a polpa do fruto sofre uma rápida conversão do amido nos estádios iniciais da maturação. Os resultados deste trabalho também são condizentes com os de Lizada et al.(1990) que observaram teores de amido entre 15 e 25% na polpa de cultivares de mesa imaturas e com os de Forsyth(1980), que apresenta valores da ordem de 20 a 23% para a polpa do fruto verde com redução para 1 a 2% no fruto totalmente maduro.

Segundo pesquisas de Fernandes, Carvalho e Cal Vidal(1979); Rossignoli(1983), Carvalho et al., 1988b, o teor de amido na polpa da banana 'Prata' varia de 19.2 a 23.9% para 0.63 a 3.46% nos frutos verde e maduro, respectivamente. Tais dados são compatíveis aos encontrados no presente estudo, da ordem de 21 a 1.7% nos frutos verde e maduro, respectivamente.

Concomitantemente à degradação do amido, observou-se um incremento na concentração de açúcares solúveis totais da ordem de 1 para 19%, confirmando a afirmação de

que, com o avanço na maturação, até o completo amadurecimento, o amido é hidrolisado resultando em enriquecimento no teor de açúcares na polpa madura(Lizada et al., 1990). Esse enriquecimento foi marcante entre os graus 2 e 3 de coloração, prolongando-se até o grau 5, com posterior estabilização. Tais resultados são pertinentes aos de Forsyth(1980) que reportou um decréscimo no teor de amido, com o amadurecimento, relacionado com um aumento no teor de açúcares solúveis de menos de 1% para quase 20%.

Fernandes, Carvalho e Cal Vidal(1979), observaram que o teor de açúcares solúveis totais de banana 'Prata' oscilou de valores menores que 1%, no fruto verde, para cerca de 20.4% no fruto maduro, valores confirmados por Rossignoli(1983), Carvalho et al.(1988b). Os resultados apresentados neste trabalho relacionam-se bem com a amplitude apresentada.

Paralelo a ascensão respiratória observou-se uma rápida redução dos teores de amido concomitantemente a uma elevação nos níveis de açúcares provenientes de sua degradação(Figuras 4 e 5). De acordo com Surendranathan e Nair(1980) e Beaudry et al.(1987), paralelo à elevação na taxa respiratória ocorre a ativação da fosfofrutoquinase, enzima chave da via glicolítica, entre outras enzimas da mesma via e do ciclo de Krebs, o que auxilia o fruto a assimilar energia como ATP produzido a partir da degradação do amido e oxidação das consequentes hexoses. O CO_2 respirado e acumulação de açúcares foram correlacionados positivamente por Hubbard, Pharr e Hubber(1990).

Detectou-se uma interação significativa ($P=0.01$) entre as doses de radiação e os graus de coloração da casca, em relação aos teores de açúcares solúveis totais nos graus 3, 5, 6 e 7 de coloração. A dose de 0.50kGy estimulou um maior acúmulo de açúcares até o grau 5 de coloração, com relação aos frutos controle, sendo que estes passaram a apresentar um acúmulo mais pronunciado da mesma variável nos graus 6 e 7 de coloração da casca. Sugere-se aqui um

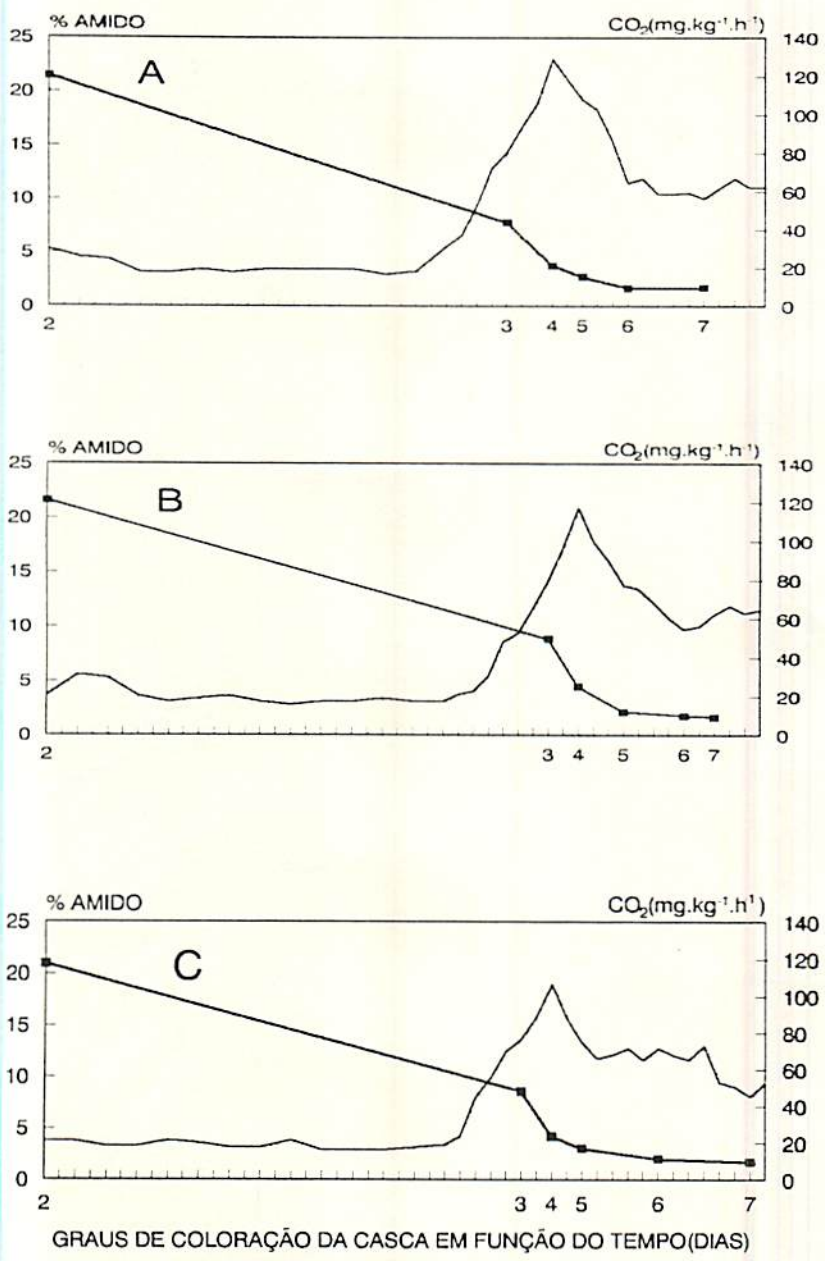


FIGURA 4 Amido (■) x dióxido de carbono (CO₂ —) durante o climatério de banana 'Prata' gama irradiada

A=0.00kGy; B=0.25kGy; C=0.50kGy

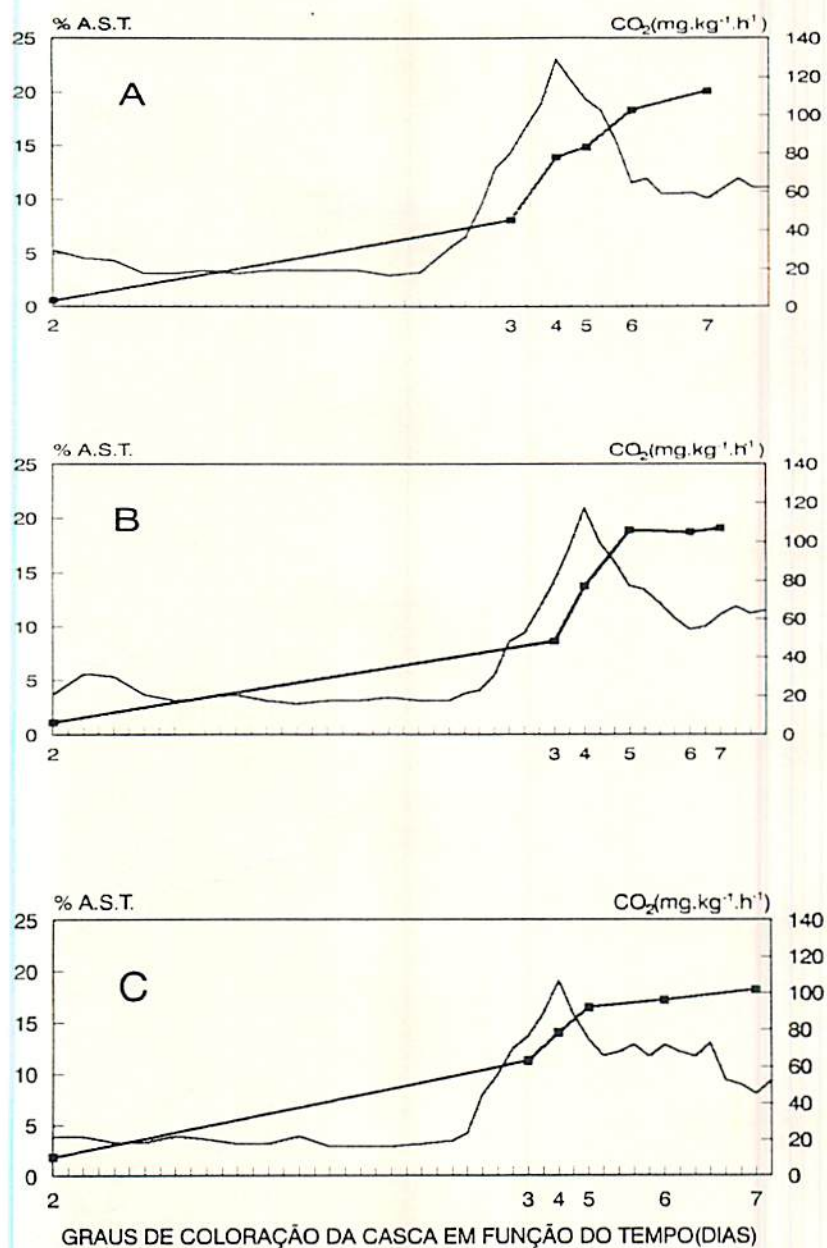


FIGURA 5 Açúcares solúveis totais (A.S.T. - ■) x dióxido de carbono (CO_2 -) durante o climatério de banana 'Prata' gama irradiada.

A=0.00kGy; B=0.25kGy; C=0.50kGy

possível efeito estressante da radiação γ a 0.50kGy, sobre a concentração de açúcares solúveis totais, até o grau 5 de coloração, a partir do qual um efeito retardado da radiação se pronuncia sobre a redução do acúmulo de açúcares solúveis totais. Já os frutos irradiados a 0.25kGy apresentaram um acúmulo de açúcares solúveis totais semelhante aos frutos controle, com excessão do grau 5 de coloração, onde tal dose determinou um acúmulo mais pronunciado desta variável. Segundo observações de Thomas, Dharkar e Sreenivasan(1971) para bananas das cultivares Red e Fill Basket, o teor de açúcares totais mostrou uma íntima correlação em frutos irradiados a 0.25 e 0.40kGy e não irradiados. Já a cultivar Giant Cavendish irradiada a 0.35kGy apresentou menor concentração de açúcares solúveis totais que os frutos controle, em graus similares de coloração. De acordo com Thomas(1986), a radiação γ em doses adequadas pode promover uma redução na taxa de hidrólise do amido, não obstante os níveis de açúcares possam se equiparar em frutos maduros irradiados e não irradiados.

4.5 PECTINAS

A análise de variância para pectina solúvel detectou uma interação significativa ($P=0.05$) entre os fatores grau de coloração da casca e dose de radiação (Tabela 4). Obsevou-se uma ascensão gradual nos níveis de pectina solúvel com o avanço da maturação até o grau 6 de coloração da casca. A interação foi visível apenas no grau 5 de coloração, onde a dose de 0.25kGy determinou um maior nível de solubilização de pectinas quando comparado ao controle.

O incremento no teor de pectina solúvel observado durante a maturação da banana 'Prata' é condizente com os estudos de Kojima, Sakurai e Kuraishi(1994); Lizada et al.(1990); Von Loesecke(1950), os quais trabalharam com outras cultivares.

Os valores de pectina solúvel para banana verde e madura encontrados neste trabalho (0.043 a 0.443%) são relativamente mais baixos do que os encontrados por Chitarra(1979) para banana 'Marmelo' mantida a 20^oC (0.51 a 0.71%).

As médias de pectina total apresentadas na Tabela 4 demonstram que não houve interação significativa ($P=0.05$) entre os fatores em estudo. Todavia, tanto as doses de radiação, quanto os graus de coloração da casca determinaram diferenças quanto a variável avaliada ($P=0.01$).

Durante a maturação o teor de pectina total mostrou, em média, um acréscimo nos graus de coloração 2 ao 5 com posterior estabilização até o grau 7. Os frutos controle e aqueles submetidos à 0.25kGy de radiação γ apresentaram, em média, valores de pectina total semelhantes entre si, e superiores aos frutos irradiados à 0.50kGy. Tais resultados concordam com um aumento na pectina durante o amadurecimento citado por Israeli e Lahav(1986) e divergem dos resultados obtidos por Chitarra(1979); Forsyth(1980); Tan, Lam e Abdullah(1986); Von Loesecke(1950), os quais observaram decréscimo no teor de pectina total durante o amadurecimento da banana, embora as cultivares em estudo tenham sido outras, que não a 'Prata'. Contudo, os valores numéricos, em torno de 0.8%, aqui apresentados para banana madura se aproximam dos apresentados por Garces Medina(1968), da ordem de 0.5 a 0.7%.

Os teores médios de pectina total de frutos irradiados a 0.50kGy inferiores àqueles de frutos irradiados a 0.25kGy, ou não irradiados, assemelham-se às observações de Thomas(1986), de que doses, entretanto, acima de 0.50kGy determinam despolimerização e conversão de

protopectina em pectina solúvel. O autor ainda correlaciona tal despolimerização a consideráveis perdas na firmeza das bananas.

Detectou-se, no estudo da relação pectina solúvel/pectina total, uma pequena interação ($P=0.05$) entre graus de coloração e dose de radiação, sendo que os frutos γ irradiados manifestaram um maior índice de solubilização relativa que os frutos controle, ao atingirem o grau 5 de coloração da casca (Tabela 4). Observou-se um incremento, com o decorrer da maturação e uma tendência de maior solubilização relativa nos frutos γ irradiados, sendo que a dose 0.50kGy determinou, o maior e mais rápido índice relativo de solubilização iniciado desde o grau 2 de coloração da casca. Isto sugere um possível efeito da radiação γ sobre a perda da firmeza dos frutos, embora Kojima, Sakurai e Kuraishi(1994) afirme que o amaciamento da polpa da banana seja o resultado da degradação coordenada de polissacarídeos pécticos, hemicelulósicos e amido. Logo, precisas determinações de componentes da parede celular são exigidos no pleno entendimento dos mecanismos de maturação da banana, uma vez que polissacarídeos pécticos e hemicelulósicos constituem-se de complexos polímeros.

Pode-se observar um incremento na solubilização de pectinas concomitante a ascensão climática (Figuras 6 e 7). Uma momentânea redução no teor de pectina total foi observada por ocasião do pico respiratório (Figura 8), sugerindo-se um incisivo consumo de pectinas como substrato respiratório, no momento de maior demanda energética.

TABELA 4 - Valores médios de pectina solúvel (P.S.), pectina total (P.T.), relação pectina solúvel/pectina total (P.S./P.T.) de banana 'Prata' gama irradiada, em seis graus de coloração da casca

DOSES DE RADIAÇÃO (kGy)	GRAUS DE COLORAÇÃO DA CASCA					
	2	3	4	5	6	7
PECTINA SOLÚVEL (P.S.)(g ac. galacturônico.100g ⁻¹ polpa fresca)						
0.00	0.048 A	0.143 A	0.270 A	0.281 B	0.406 A	0.443 A
0.25	0.043 A	0.169 A	0.263 A	0.384 A	0.381 A	0.434 A
0.50	0.052 A	0.191 A	0.287 A	0.335 AB	0.422 A	0.431 A
CV=10.04%						
PECTINA TOTAL (P.T.)(g ac.galacturônico.100g ⁻¹ polpa fresca)						
0.00	0.542 NS	0.803 NS	0.709 NS	0.878 NS	0.790 NS	0.801 NS
0.25	0.551 NS	0.774 NS	0.701 NS	0.850 NS	0.798 NS	0.812 NS
0.50	0.543 NS	0.750 NS	0.724 NS	0.765 NS	0.743 NS	0.746 NS
MÉDIA	0.545 c	0.776 a	0.711 b	0.831 a	0.77 a	0.786 a
CV=5.36%						
PECTINA TOTAL (P.T.)(g ac. galacturônico.100g ⁻¹ polpa fresca)						
	MÉDIA					
0.00	0.754 A					
0.25	0.748 A					
0.50	0.712 B					
CV=5.36%						
RELAÇÃO PECTINA SOLÚVEL/PECTINA TOTAL(P.S./P.T.)						
0.00	0.089 A	0.178 A	0.379 A	0.321 B	0.516 AB	0.553 A
0.25	0.079 A	0.219 A	0.376 A	0.453 A	0.477 B	0.535 A
0.50	0.095 A	0.256 A	0.396 A	0.443 A	0.568 A	0.578 A
CV=11.19%						

Médias seguidas de mesmas letras, maiúsculas na vertical, ou minúsculas na horizontal, não diferem entre si ao nível de 5% de significância (Teste de Tukey).

NS=não significativo ao nível de 5% de significância

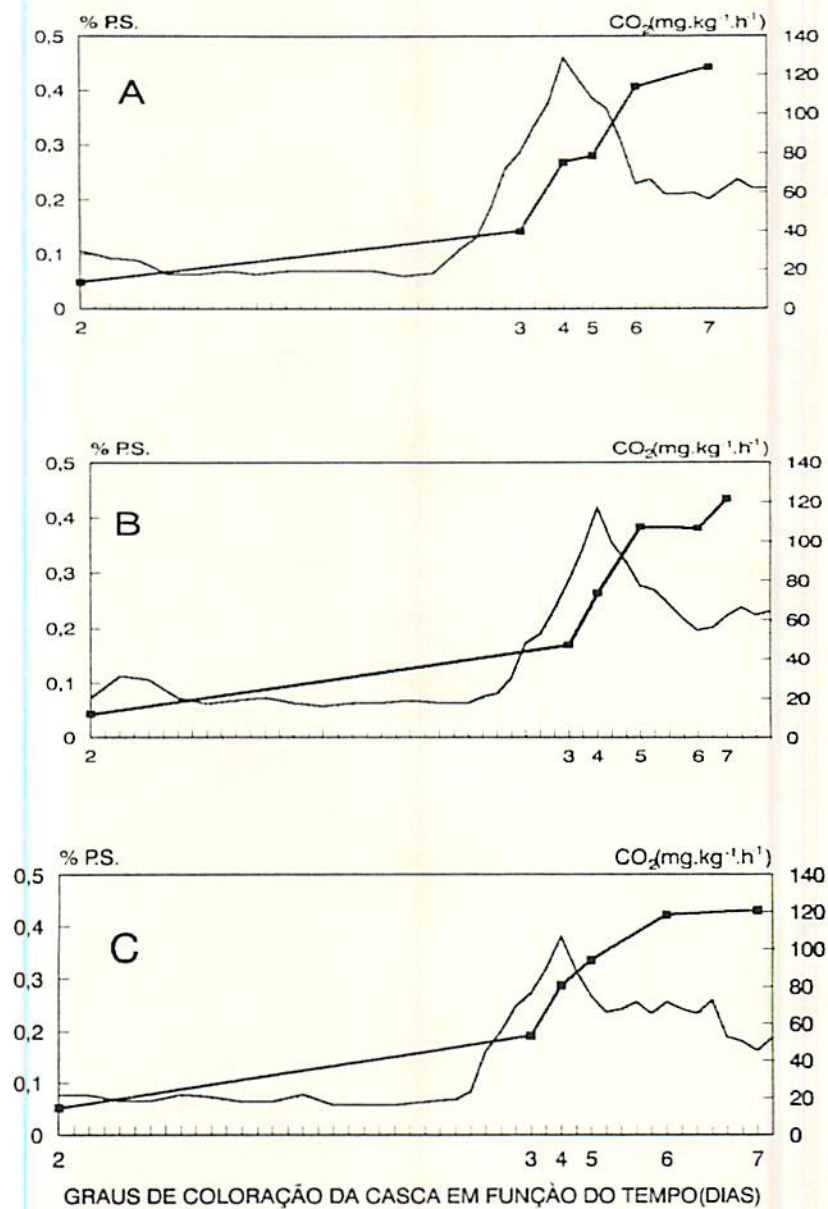


FIGURA 6 Pectina solúvel (P.S. - ■) x dióxido de carbono (CO_2 -) durante o climatério de banana 'Prata' gama irradiada.

A=0.00kGy; B=0.25kGy; C=0.50kGy

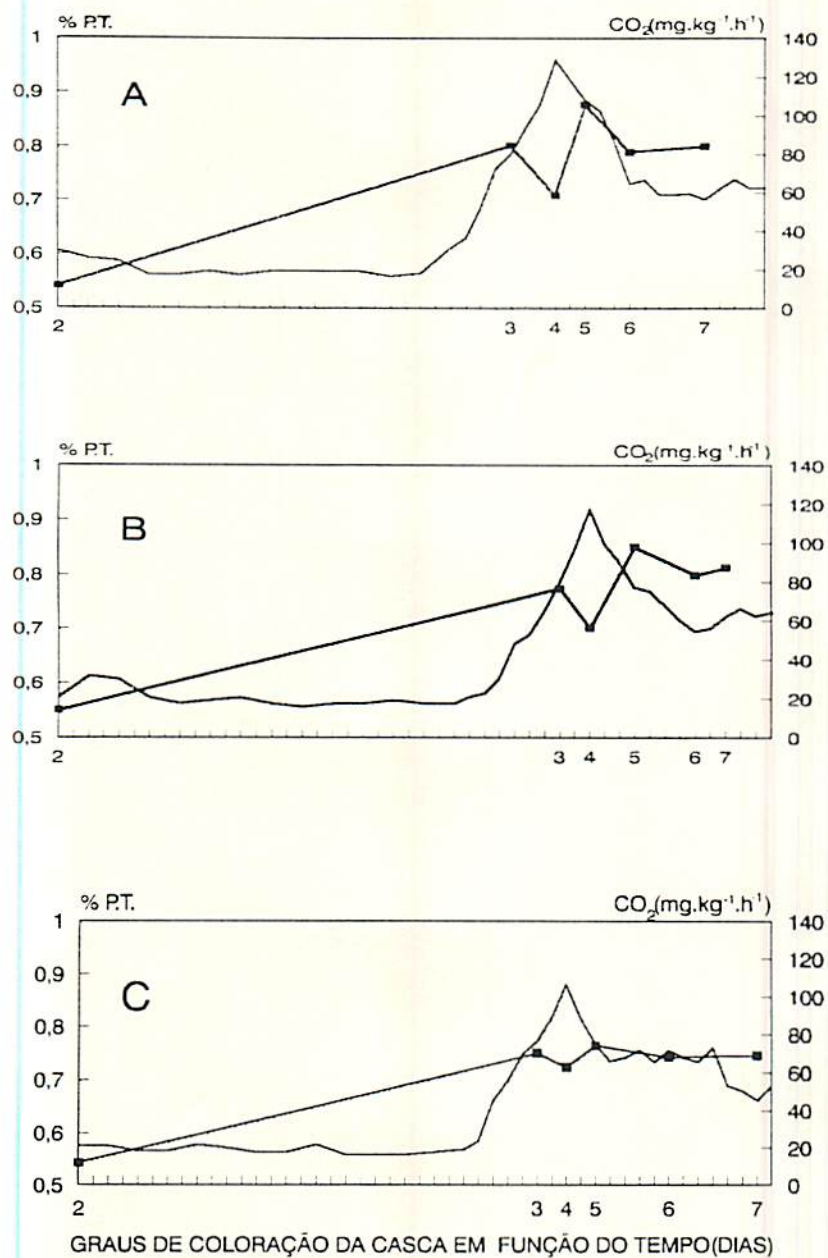


FIGURA 7 Pectina total (P.T. - ■) x dióxido de carbono (CO_2 -) durante o climatério de banana 'Prata' gama irradiada

A=0.00kGy; B=0.25kGy; C=0.50kGy

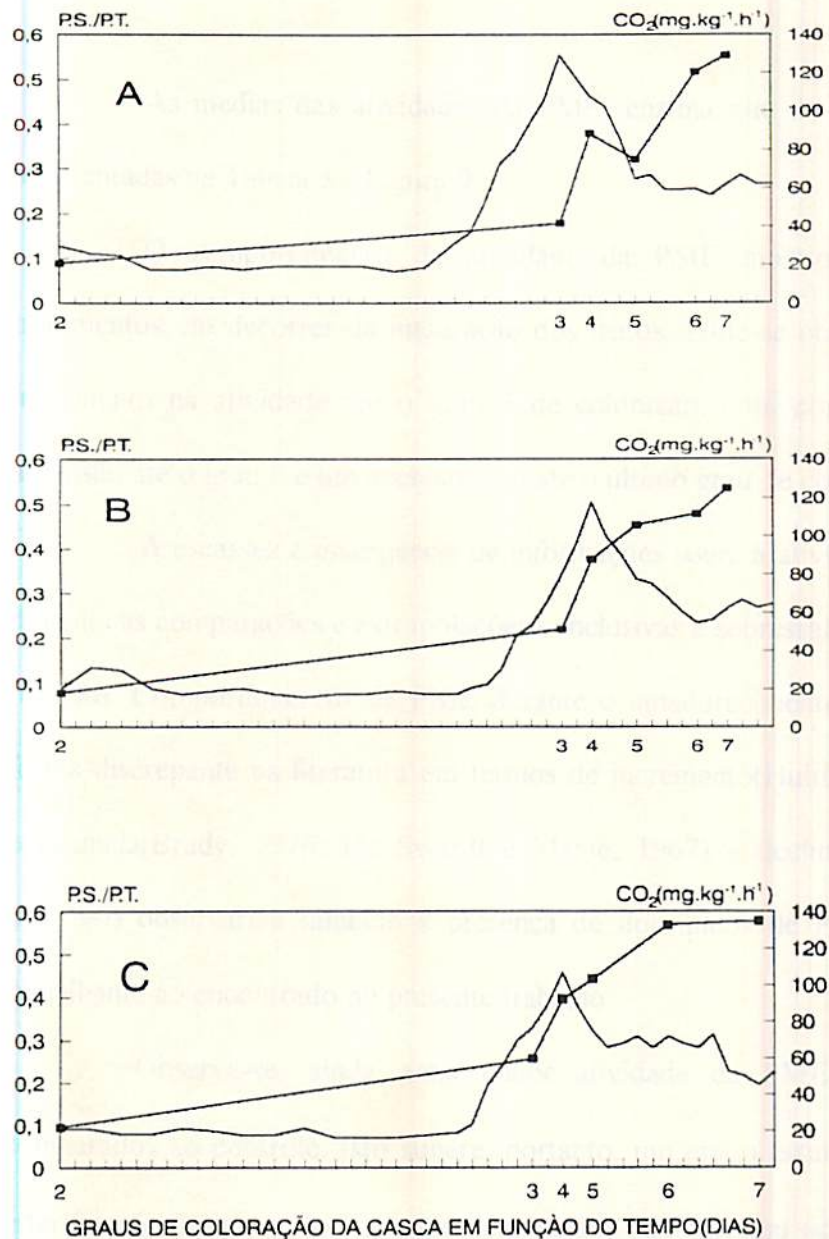


FIGURA 8 Relação pectina solúvel/pectina total (P.S./P.T. - ■) x dióxido de carbono (CO₂ -) durante o climatério de banana 'Prata' gama irradiada.

A=0.00kGy; B=0.25kGy; C=0.50kGy

irradiação com subsequente decréscimo em pêras e pêssegos(Somogyi e Romani, 1964) e mamões(Cabrera et al., 1971).

4.7 POLIGALACTURONASE (PG)

As médias relativas à atividade da PG são apresentadas na Tabela 5 e Figura 9.

Os frutos controle e γ -irradiados a 0.25kGy apresentaram um comportamento da PG semelhante ao apresentado pela atividade da PME, ou seja, uma ascensão até o grau 3, posterior queda até grau 4, nova ascensão até o grau 6 e finalmente uma queda até o grau 7 de coloração da casca, sugerindo-se um efeito coordenado entre ambas enzimas. Os frutos irradiados 0.50kGy comportaram-se diferentemente com uma ascensão até o estágio 5 e subsequente queda.

Observou-se um efeito supressivo da radiação γ sobre a atividade da PG, sendo que a dose 0.50kGy suprimiu por completo o pico relativo ao grau 6 de coloração que corresponderia ao segundo e mais pronunciado pico da PME.

Pode-se associar o incremento na atividade da PG durante a maturação da banana com uma elevação na solubilização de pectinas, observável pela relação pectina solúvel/pectina total. Todavia, o efeito supressivo da radiação γ sobre a atividade da PG não foi suficiente para inibir a despolimerização de pectinas.

O envolvimento da PG, bem como da PME, na degradação da pectina em bananas é levantado frente ao incremento, durante o amadurecimento, dos teores de pectina solúvel(Lizada et al., 1990). Dominguez-Puigjaner, Vendrell e Ludevid(1992) sugeriram, a partir de seus estudos, a presença de um tipo de PG em banana. Não obstante, Smith et al., 1990, trabalhando com quatro cultivares de bananas, não foram hábeis na detecção de tal enzima. Já, Markovic et

al.(1975), observaram a enzima exopoligalacturonase em bananas, enquanto Wade, Satyan e Kavanagh(1993) apresentaram resultados consistentes com a hidrólise de poliuronídeos da parede celular por exopoligalacturonase.

Pode-se traçar um paralelo entre a atividade enzimática (PME e PG) e o climatério respiratório (Figuras 10 e 11). Observa-se, a despeito do complexo comportamento enzimático, um incremento na sua atividade concomitante a ascensão climatérica, o que permite um relacionamento entre as enzimas degradantes da parede celular e mudanças na maturação dos frutos.

TABELA 5 - Valores médios da atividade de pectinametilsterase (PME) e poligalacturonase (PG) de banana 'Prata' gama irradiada, em seis graus de coloração da casca

DOSES DE RADIÇÃO (kGy)	GRAUS DE COLORAÇÃO DA CASCA					
	2	3	4	5	6	7
PECTINAMETILESTERASE (PME)(nmol NaOH.g ⁻¹ polpa fresca.min ⁻¹)						
0.00	40.00	1813.33	240.00	140.00	1680.00	1000.00
0.25	40.00	2200.00	1913.33	1520.00	6620.20	1020.00
0.50	68.00	1166.67	506.67	346.67	3376.67	2640.00
POLIGALACTURONASE (PG)(nmol açúcar redutor.g ⁻¹ polpa fresca.min ⁻¹)						
0.00	1.87	57.77	29.48	38.62	98.73	82.31
0.25	4.13	57.22	22.23	24.49	85.76	49.37
0.50	3.77	16.94	39.31	45.45	41.69	31.54

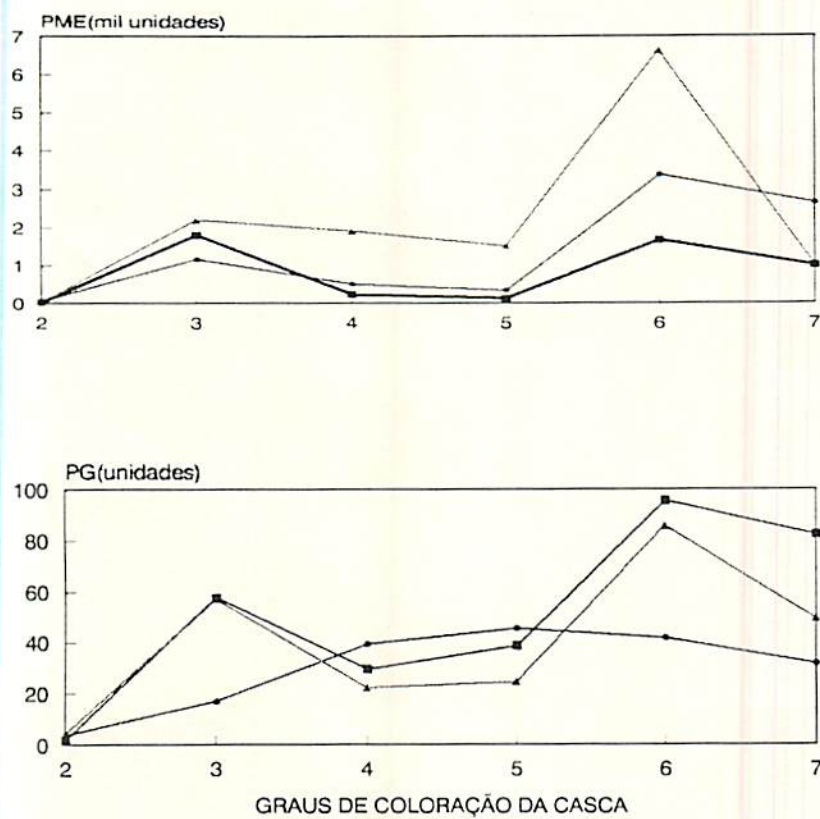


FIGURA 9 Atividade da pectinametilsterase (PME) e poligalacturonase (PG) durante a maturação de banana 'Prata' gama irradiada

0.00kGy - ■; 0.25kGy - ▲; 0.50kGy - ●

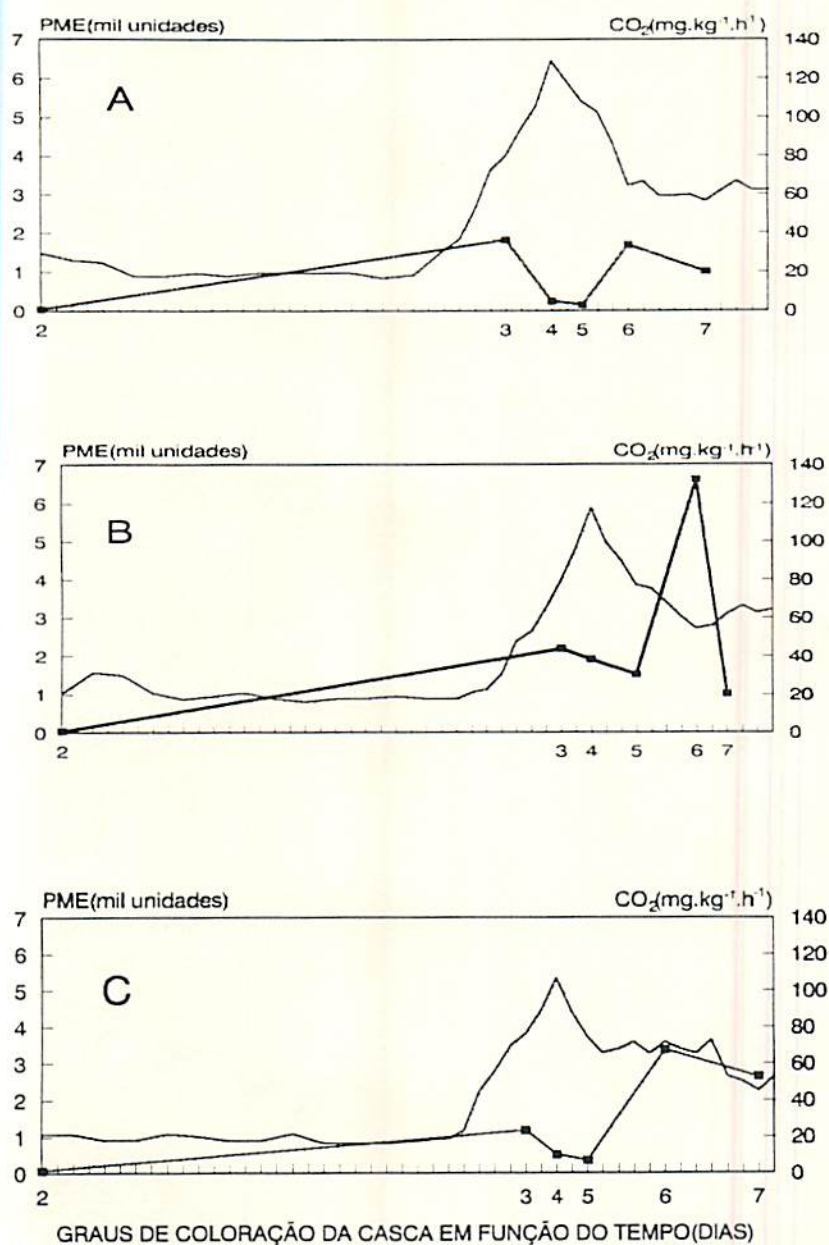


FIGURA 10 Atividade da pectinametilesterase (PME - ■) x dióxido de carbono (CO₂ -) durante o climatério de banana 'Prata' gama irradiada

A=0.00kGy; B=0.25kGy; C=0.50kGy

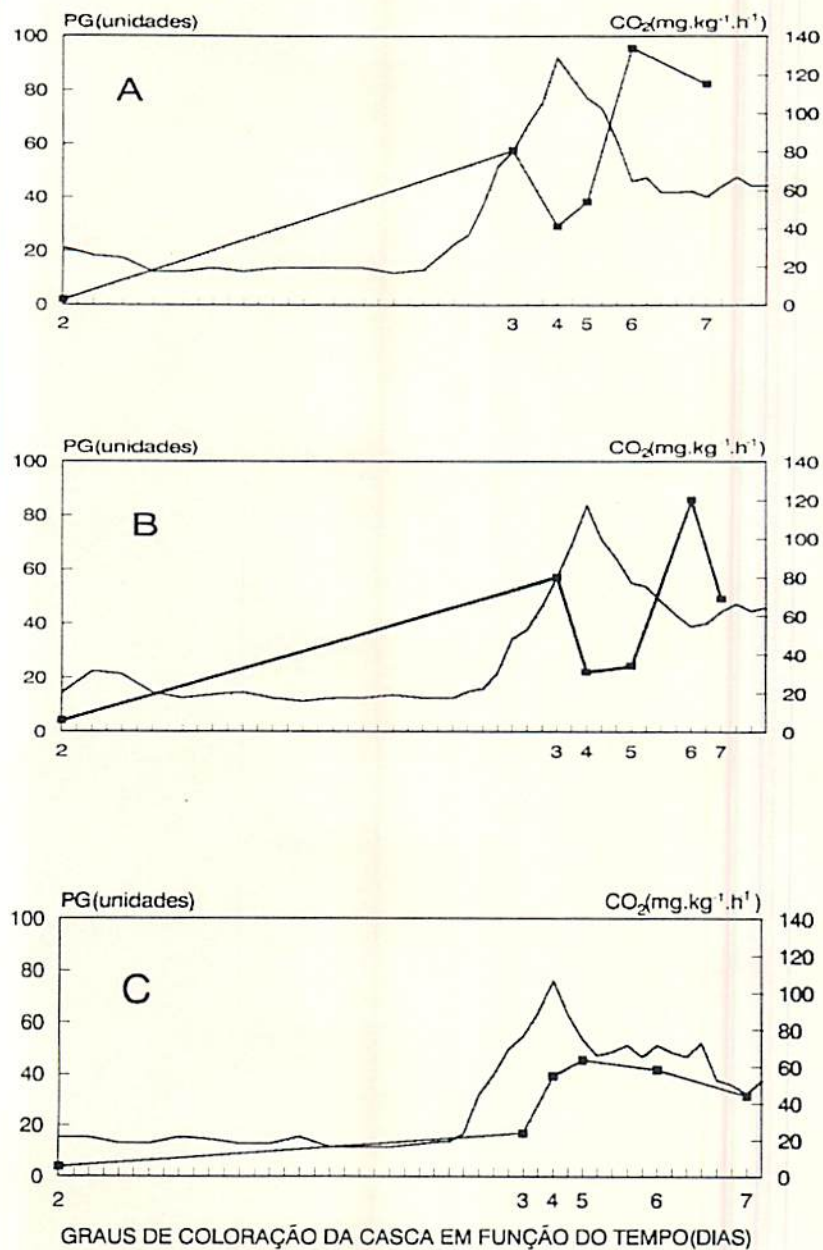


FIGURA 11 Atividade da poligalacturonase (PG - ■) x dióxido de carbono (CO₂ -) durante o climatério de banana 'Prata' gama irradiada

A=0.00kGy; B=0.25kGy; C=0.50kGy

5 CONCLUSÕES

Sob as condições experimentais estudadas, o presente trabalho permite concluir:

- A coloração e as características visuais do fruto não foram afetadas, aparentemente, pela radiação γ , nas doses estudadas;
- As doses 0.25 e 0.50kGy incrementaram a taxa de produção de etileno nos frutos da bananeira 'Prata'. Todavia, reduziram a sensibilidade dos frutos ao etileno endógeno, com consequente redução na taxa respiratória, muito embora tal fato não tenha se refletido no prolongamento de sua vida pós-colheita.;
- A radiação γ na dose 0.25kGy promoveu o maior aumento na relação polpa/casca dos frutos, a partir do grau 5 de coloração da casca, resultado de um possível efeito estressante da mesma;
- A radiação γ nas doses estudadas, não afetou a degradação do amido durante a maturação, não obstante, as concentrações de açúcares solúveis totais tenham apresentado

comportamentos diferentes. A dose de 0.50kGy apresentou um efeito retardador sobre o acúmulo de açúcares, determinando uma redução do mesmo a partir do grau 6 de coloração da casca;

- Os frutos γ -irradiados apresentaram uma maior tendência de solubilização de pectinas, embora respaldada estatisticamente apenas no grau 5 de coloração da casca. Aqueles frutos submetidos a 0.50kGy apresentaram-se, em média, com menores teores de pectina total;

- A radiação γ determinou um incremento na atividade da enzima pectinametilesterase, o que sugere um efeito estimulante sobre a deesterificação de pectinas. Não obstante, a radiação γ afetou supressivamente a atividade da poligalacturonase, embora tal supressão enzimática tenha sido insuficiente para inibir a despolimerização de pectinas.

SUGESTÃO

Sugere-se novos estudos com relação à irradiação de banana 'Prata', contudo, com taxas de dose superiores à utilizada no presente trabalho ($1\text{kGy}\cdot\text{h}^{-1}$).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDULLAH, H.; LIZADA, M.C.C.; TAN, S.C.; PANTASTICO, Er.B.; TONGDEE, S.C. Storage of banana. In: HASSAN, A; PANTASTICO, Er.B.(eds) Banana fruit development, postharvest physiology, handling and marketing in ASEAN. Boston, 1990. cap.4, p.45-64.
- OK ABELES, F.B.; MORGAN, P.W.; SALTVEIT Jr, M.E. Fruit ripening, abscission, and postharvest disorders. In: ABELES, F.B.; MORGAN, P.W.; SALTVEIT Jr, M.E. Ethylene in plant biology. 2.ed. Boston, 1992. cap.6, p. 182-221.
- OK AHMAD, A.E.; LABAVITCH, J.M. Cell wall metabolism in ripening fruits. Plant Physiology, Washington, v.65, p.1009-1013, 1980.
- OK ARÊAS, J.A.G.; LAJOLO, F.M. Determinação enzimática específica de amido, glicose, frutose e SIM sacarose em bananas preclimatéricas e climatéricas. Anais de Farmácia e Química de São Paulo, São Paulo, v.20, n.1/2, p.307-18, 1980.
- OK ARÊAS, J.A.G.; LAJOLO, F.M. Starch transformation during banana ripening: I- The phosphorylase and phosphatase behavior in *Musa acuminata*. Journal of Food Biochemistry, Westport, v.5, p.19-37, 1981.
- AWAD, M.; YOUNG, R.E. Postharvest variation in cellulase, poligalacturonase, and pectinmethylesterase in avocado (*Persea americana* Mill, cv. Fuerte) fruits in relation to respiration and ethylene production. Plant Physiology, Washington, v.64, p. 306-308, 1979.
- AYUB, R.A. Estudos para determinação do ponto de colheita da banana-Prata (Musa AAB subgrupo Prata). Viçosa: UFV, 1990. 52p. (Tese mestrado em Fitotecnia).
- BARRET, D.M.; GONZALES, C. Activity of softening enzymes during cherry maturation. Journal of Food Science, Chicago, v.59, n.3, p.574-577, 1994.
- OK BEAUDRY, R.M.; PAZ, N.; BLACK, C.C.; KAYS, S.J. Banana ripening: implications of changes in internal ethylene and CO₂ concentrations, pulp fructose 2,6-bisphosphate

- concentration, and activity of some glycolytic enzymes. Plant Physiology, Washington, v.85, p.277-282, 1987.
- OK BECK, E.; ZIEGLER, P. Biosynthesis and degradation of starch in higher plants. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, Palo Alto, v.40, p. 95-117, 1989.
- OK BIALE, J.B. Growth, maturation, and senescence in fruits. Science, Washington, v.146, p.880-888, 1964.
- BLEINROTH, E.W. Matéria prima. In: INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS. Banana: cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos. 2.ed. Campinas, 1993. cap.2, p.133-196.
- BLUMENKRANTZ, N.; ASBOE-HANSEN, G. New method for quantitative determination of uronic acids. Analytical Biochemistry, New York, n.54, p.484-489, 1973.
- ND OK BRADY, C.J. The pectinesterase of the pulp of the banana fruit. Australian Journal of Plant Physiology, Melbourne, v.3, p.163-172, 1976.
- OK BRADY, C.J.; SPEIRS, J. Ethylene in fruit ontogeny and abscission. In: MATTOO, A.K.; SUTTLE, J.C. The plant hormone ethylene. Boston: CRC Press, 1991. Cap 13, p.235-258.
- BRASIL, Ministério da Agricultura. Normais Climatológicas - 1961-1990. Rio de Janeiro, 1990. 84p.
- BRODERICK, H.T.; STRYDOM, G.J. The radurisation of bananas under commercial conditions. Part 1; Increased storage life. Citrus and Subtropical Fruit Journal, Johannesburg, v.602, p.4-6, 1984.
- BRODERICK, H.T.; THOR-GRAY, R.S.; STRYDOM, G.J. The radurisation of bananas under commercial conditions. Part 2; Shelf- or market- life extension. Citrus and Subtropical Fruit Journal, Johannesburg, v.603, p.4-5, 1984.
- BUESCHER, R.W.; FURMANSKI, R.J. Role of pectinesterase and polygalacturonase in the formation of woolliness in peaches. Journal of food Science, Chicago, v.43, p.264-266, 1978.
- BURG, S.P.; BURG, E.A. Molecular requirement for the biological action of ethylene. Plant Physiology, Washington, v.42, p.144, 1967.
- CABRERA, M.L.; CUEVAS, R.J.; DESHPANDE, S.N. Post irradiation changes in pectin methylesterase and pectin polygalacturonase activity in papayas, Revista Sociedad Química de México, México, v.15, p.107, 1971.
- CARVALHO, H.A. de. Qualidade de banana 'Prata' previamente armazenada em saco de polietileno, amadurecida em ambiente com elevada umidade relativa. Lavras: ESAL, 1984. 92p. (Tese - Mestrado em Ciência dos Alimentos).

- OK CARVALHO, H.A. de; CHITARRA, M.I.F.; CARVALHO, H.S. de; CHITARRA, A.B.; CARVALHO, V.D. de. Banana 'Prata' amadurecida sob umidade relativa elevada. I-Perda de peso, relação polpa/casca, coloração e respiração dos frutos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.23, n.12, p.1331-1338, 1988a.
- OK CARVALHO, H.A. de; CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B.; CARVALHO, H.S. de; CARVALHO, V.D. de. Qualidade de banana 'Prata' previamente armazenada em sacos de polietileno, amadurecida em ambiente com umidade relativa elevada. II- Carboidratos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.23, n.1, p.1-5, 1988b.
- CHACHIN, K.; KATO, K. Study of the maturation changes in fruits induced by gamma irradiation. I. Effect of gamma irradiation on the after ripening and quality of banana fruit. Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi, Tokyo, v.12, p.367, 1965.
- OK CHARLES, R.J.; TUNG, M.A. Physical, rheological and chemical properties of bananas during ripening. Journal of Food Science, Champaign, v.38, p.456-459, 1973.
- OK CHITARRA, A.B. Contribuição ao estudo da fisiologia e bioquímica pós-colheita da banana 'Marmelo'. São Paulo: USP, 1979. 110p. (Tese - Doutorado em Ciência dos Alimentos).
- CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. Aspectos fisiológicos do desenvolvimento de frutos. In: CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. Pós-colheita de frutos e hortaliças; fisiologia e manuseio. Lavras, ESAL/FAEPE, 1990. Cap.6, p.23-63.
- OK CHITARRA, A.B.; LAJOLO, F.M. Phosphorylase, phosphatase, α -amylase activity and starch breakdown during of 'Marmelo' banana [(*Musa acuminata* Colla) x (*Musa balbisiana* Colla) ABB group] whole fruit and thin slices. Journal of the American Society for Horticultural Science, Mount, VA, v.106, n.5, p.579-584, 1981.
- CIOLA, R. Introdução à cromatografia em fase gasosa, São Paulo, Edgard Blucher, 1973. 231p.
- d'AMOUR, J.; GOSSELIN, C.; ARUL, J.; CASTAIGNE, F.; WILLEMOT, C. Gamma-radiation affects cell wall composition of strawberries. Journal of Food Science, Chicago, v.58, n.1, p.182, 1993.
- OK DE LEO, P.; SACHER, J.A. Senescence: association of synthesis of acid phosphatase with banana ripening. Plant Physiology, Washington, v.46, p.208-211, 1970.
- DISCHE, E. Color reactions of carbohydrates. In: Methods in carbohydrates chemistry. New York, v.1, 1962. p.477-512.
- DISCHE, E. In: GLICK, D. Methods of biochemistry analysis. New York, Interscience, v.2, 1955. p.313-358.
- DOLE BANANAS. Banana handling manual. San Francisco: Dole and the Red S Castle & Cooke, Inc., [19..]. 36p.

- DOMINGUEZ, M.; VENDRELL, M. Ethylene biosynthesis in banana fruit: evolution of EFE activity and ACC levels in peel and pulp during ripening. Journal of Horticultural Science, Ashford, v.68, n.1, p.63-70, 1993.
- DOMINGUEZ-PUIGJANER, E.; VENDRELL, M.; LUDEVID, M.D. Differential protein accumulation in banana fruit during ripening. Plant Physiology, Washington, v.98, p.157-162, 1992.
- OK DUFUS, C.M.; DUFUS, J.H. Carbohydrate metabolism in plants. London, 1984.
- FERGUSON, W.E.; YATES, A.R.; McQUEEN, K.F.; ROBB, J.A. The effects of gamma radiation on bananas. Food Technology, Chicago, v.203, p.105-107, 1966.
- FERNANDES, K.M.; CARVALHO, V.D.; CAL-VIDAL, J. Physical changes during ripening of Silver bananas. Journal of Food Science, Chicago, v.44, n.4, p.1254-1255, 1979.
- OK FORSYTH, W.G.C. Banana and plantain. In: NAGY, S.; SHAW, P.E. Tropical and Subtropical fruits: composition, properties and uses. Westport: AVI, 1980. cap.5, p.258.
- OK GARCES MEDINA, M. Pectin, pectin esterase and ascorbic acid in pulp of tropical fruits. Archivos Latinoamericanos de Nutricion, Caracas, v.18, p.401-411, 1967.
- OK GARCIA, E.; LAJOLO, F.M. Starch transformation during banana ripening: the amylase and glucosidase behavior. Journal of Food Science, Chicago, v.53, n.4, p.1181-1186, 1988.
- GLIDEWELL, S.M.; DEIGHTON, N.; GOODMAN, B.A.; HILLMAN, J.R. Detection of irradiated food: a review. Journal of the Science of Food Agriculture, London, v.61, p.281-300, 1993.
- GOMES, W. da R. Principais cultivares da bananeira. Informe Agropecuário Brasileiro, Belo Horizonte, v.6, n.63, p.16-17, 1980.
- GOODMAN, B.A.; Mc PHAIL, D.B.; DUTHIE, D.M.L. Electron spin resonance of some irradiated foodstuffs. Journal of the Science of Food Agriculture, London, v. 47, p.101-111, 1989.
- HILKER, D.M.; YOUNG, R.I. Effect of ionizing radiation on some nutritional and biochemical properties of papaya, Hawaii Farm Science, Honolulu, v.15, p.9, 1966.
- OK HUBBARD, N.L.; PHARR, D.M.; HUBER, S.C. Role of sucrose phosphate synthase in sucrose biosynthesis in ripening bananas and its relationship to the respiratory climateric. Plant Physiology, Washington, v.94, p.201-208, 1990.
- HUBER, D.J. Polyuronide degradation and hemicelulose modifications in ripening tomato fruit. Journal of the American Society for Horticultural Science, Mount, VA, v.108, n.3, p.405-409, 1983.

- OK HULTIN, H.O.; LEVINE, A.S. Pectin methyl esterase in ripening banana. Journal of Food Science, Chicago, v.30, n.6, p.917-921, 1965.
- HULTIN, H.O.; SUN, B.; BULGER, J. Pectin methyl esterase of the banana. Purification and properties. Journal of Food Science, Chicago, v.31, n.3, p.320-327, 1966.
- IBGE. Enciclopédia brasileira dos municípios. Rio de Janeiro, 1958. 579p.
- OK ISRAELI, Y.; LAHAV, E. Banana. In: MONSELISE, S.P. CRC handbook of fruit set and development, Florida, CRC Press, 1986, p.45-73.
- OK IYARE, O.A.; EKWUKOMA, B.O. Changes in the activities of carbohydrate-degrading enzymes with ripening in *Musa paradisiaca*. Journal of the Science of Food Agriculture. London, v.58, p.173-176, 1992.
- KAHAN, R.S.; NADEL-SHIFMAN, M. TEMKIN-GORODEISKI, N.; EINSENBURG, E.; ZAUBERMAN, G.; AHARONI, Y. Effect of radiation on the ripening of bananas and avocados pears. Preservation of Fruit and Vegetables by radiation, Viena, International atomic Energy Agency, 1968, p.3.
- KAO, H.Y. Extension of storage life of bananas by gamma irradiation. In: Desinfestation of Fruit by irradiation, Viena, International Atomic Energy Agency, 1971, p.125.
- KAREL, M. Radiation preservation of foods. In: KAREL, M.; FENNEMA, O.R.; LUND, D.B. Principles of Food Science. Part II: physical principles of food preservation. New York: Marcel Kikker, 1975. cap.4, p.93-130.
- KAWABATA, A.; SAWAYAMA, S. Changes in contents of sugar, starch and pectin substances, and in acidity of bananas during ripening. Journal of the Japanese Society of Food and Nutrition, Tokyo, v.27, p.21-25, 1974.
- KHAN, I.; MUHAMMED, A. Effet de l'irradiation sur la production d'éthylène et le murissement des bananes. Food Irradiation, Saclay, v.9, n.4, p.35-41, 1969.
- KITAZATO, S.; KONISHI, Y.; ASANO, R.; NAKATANI, N. Note: extraction of soluble and bound γ -glucosidases from banana pulp. Agricultural Biological Chemistry, Tokyo, v.55, n.10, p.2661-2662, 1991.
- KOJIMA, K.; SAKURAI, N.; KURAISHI, S. Fruit softening in banana: correlation among stress-relaxation parameters, cell wall components and starch during ripening. Physiologia Plantarum, Copenhagen, v.90, p.772-778, 1994.
- OK KONISHI, Y., KITAZATO, S.; ASANO, R.; NAKATANI, N. Polymorphism of acid and neutral γ -glucosidases in banana pulp: changes in apparent pIs and affinity to Con A of the enzymes during ripening. Agricultural Biological Chemistry, Tokyo, v.55, n.4, p.1089-1094, 1991.

- OK LIZADA, M.C.C.; PANTASTICO, Er. B.; SHUKOR, A.R.Abd.; SABARI, S.D. Ripening of banana; changes during ripening in banana. In: HASSAN, A.; PANTASTICO, Er. B.(Eds.) Banana fruit development, postharvest physiology, handling and marketing, in ASEAN. Boston, 1990. cap.5, p.65-84.
- LOAHARANU, P. Status and prospects of food irradiation. Food Technology, Chicago, v.48, n.5, p.124-131, 1994.
- OK LUSTRE, A.O.; SORIANO, M.S.; MORGA, N.S.; BALAGER, A.H.; TUNAC, M.M. Physico-chemical changes in "Saba" bananas during normal and acetylene induced ripening. Food Chemistry, Essex, England, v.1, p.125, 1976.
- OK MAO, W.W.; KINSELA, J.E. Amylase activity in banana fruit: properties and changes in activity with ripening. Journal of Food Science, Chicago, v.46, p.1400, 1981.
- OK MARKOVIC, O.; HEINRICHOVÁ, K.; LENKEY, B. Pectolytic enzymes from banana. Collection Czechoslovak Chemistry community, London, v.40, p.769-74, 1975.
- OK MARRIOT, J. Bananas: physiology and biochemistry of storage and ripening for optimum quality. CRC Critical Review in Food Science and Nutrition, Boca Raton, FL, v.13, n.1, p.41-88, 1980.
- MAXIE, E.C.; AMEZQUITA, R.; HASSAN, B.M.; JOHNSON, C.F. Effect of gamma irradiation on the ripening of banana fruits. Journal of the American Society for Horticultural Science, Mount, VA, v.92, p.235-254, 1968.
- McCREADY, P.M.; McCOMB, E.A. Extraction and determination of total pectic material. Analytical chemistry, Washington, v.24, n.12, p.1586-1588, 1952.
- MEDINA, J.C. Cultura. In: ITAL. Banana; cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos. 2 ed. Campinas, ICEA Gráfica e Editor, 1993. cap.1, p.1-131.
- MEDLICOTT, A.P.; SEMPLE, A.J.; THOMPSON, A.J.; BLACKBOURNE, H.R.; THOMPSON, A.K. Measurement of colour changes in ripening bananas and mangoes by instrumental, chemical and visual assessments. Tropical Agriculture, Trinidad, v.69, n.2, p.161-166, 1992.
- MURATA, T. Physiological and biochemical studies of chilling injury in banana. Physiologia Plantarum, Copenhagen, v.22, n.2, p.401-411, 1969.
- NELSON, N.A. A photometric adaptation of Somogyi method for the determination of glucose. The Journal of Biological Chemistry, Baltimore, v.135, p.375, 1944.
- OGATA, K.; CHACHIN, K. Biochemical studies on the storage of irradiated fruits and vegetables. Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi, Tokyo, v.16, p.167, 1969.
- PALMER, J.K. Plant Physiology, Lancaster, v.38, p.508, 1963.

- OK PALMER, J.K. The banana. In: HULME, A.C. Biochemistry of fruits and their products. v.II, New York, Academic Press, 1971. cap.2, p.65-105.
- OK PALMER, J.K.; BRANDES, W.B. Determination of sucrose, glucose, and fructose by liquid chromatography. Journal of Agricultural and Food Chemistry, Washington, v.22, p.709-712, 1974.
- OK PINTO, A.C. de Q. Influência do ácido giberélico, do permanganato de potássio e da embalagem de polietileno na conservação e qualidade da banana "Prata". Lavras: ESAL, 1978. 80p. (Tese - Mestrado em Fitotecnia).
- OK POLAND, G.L.; MANION, J.T.; BRENDER, M.W.; HARRIS, P.L. Sugar changes in the banana during ripening. Industrial and Engineering Chemistry, Easton, v.30, p.340-342, 1938.
- PRESSEY, R.; AVANTS, J.K. Solubilization of cell walls by tomato polygalacturonases: effects of pectinesterases. Journal of Food Biochemistry, Westport, v.6, n.1, p.57-74, 1982.
- PRESSEY, J.K.; HINTON, D.M.; AVANTS, J.K. Development of polygalacturonase activity and solubilization of pectin in peaches during ripening. Journal of Food Science, Chicago, v.36, p.1070-1072, 1971.
- PROCTOR, A.; MIESLE, T.J. Polygalacturonase and pectinmethylesterase activities in developing highbush blueberries. HortScience, Alexandria, v.26, n.5, p.579-581, 1991.
- RAMASWAMY, H.S.; TUNG, M.A. Technical note: textural changes as related to colour of ripening bananas. International Journal of Food Science and Technology, London, v.24, p.217-221, 1989.
- RATNER, A.; GOREN, R.; MONSELINE, S.P. Activity of pectin esterase and cellulase in the abscission zone of citrus leaf explants. Plant Physiology, Washington, v.44, p.1717-1723, 1969.
- ROCKETTI, G.; DENTI, E. Ripening of Poyo bananas irradiated three days after cutting, Atti Simp. Int. Agroc., Roma, v.8, p.546, 1971.
- OK ROSSIGNOLI, P.A. Atmosfera modificada por filmes de polietileno de baixa densidade com diferentes espessuras para conservação de banana "Prata" em condições ambiente. Lavras: ESAL, 1983. 81p. (Tese - Mestrado em Ciência dos Alimentos).
- OK → SALUNKE, D.K.; BOLIN, H.R.; REDDY, N.R. Storage, processing, and nutritional quality of fruits and vegetables: fresh fruits and vegetables. 2.ed. Boston: CRC Press, 1991. v.1, 323p.
- OK → SGARBIERI, V.C.; FIGUEIREDO, I.B. Transformações bioquímicas da banana durante o amadurecimento. Revista Brasileira de Tecnologia, São Paulo, v.2, p.85-94, 1971.
- SIMMONDS, N.W. Bananas. Singapore, Print House, 1966.

- OK SIMMONDS, N.W.; SHEPHERD, K. The taxonomy and origin of the cultivated bananas, Botany, London, v.55, p.302-312, 1955.
- OK SINGH, S.; SANWAL, G.G. Characterization of multiple forms of α -glucan phosphorylase from Musa paradisiaca fruits. Phytochemistry, Oxford, v.14, p.113-18, 1975.
- OK SMITH, N.J.; SEYMOUR, G.B.; JEGER, M.J.; TUCKER, G.A. Cell wall changes in bananas and plantains. Acta Horticulturae, Wageningen, Holanda, v.269, p.283-289, 1990.
- SOMOGYI, L.P.; ROMANI, R.J. Irradiation-induced textural change in fruits and its relation to pectin metabolism. Journal of Food Science, Chicago, v.29, n.3, p.366-371, 1964.
- STRATTON, F.C.; VON LOESECKE, H.W. Changes in osmotic pressure of banana during ripening. Plant Physiology, Lancaster, v.6, p.361-365, 1931.
- STRYDOM, G.J.; VAN STADEN, J.; SMITH, M.T. The effect of gamma radiation on the ultrastructure of the peel of banana fruits. Environmental and Experimental Botany, New York, v.31, n.1, p.43-49, 1991.
- STRYDOM, G.J.; WHITEHEAD, C.S. The effect of ionizing radiation on ethylene sensitivity and postharvest ripening of banana fruit. Scientia Horticulturae, Amsterdam, v.41, p.293-304, 1990.
- SURENDRANATHAN, K.K.; NAIR, P.M. Alterations in carbohydrate metabolism of γ -irradiated cavendish banana. Phytochemistry, Elmsford, v.12, p.241-249, 1973.
- OK SURENDRANATHAN, K.K.; NAIR, P.M. Carbohydrate metabolism in ripening banana and its alteration on gamma irradiation in relation to delay in ripening. Journal of the Indian Institute of Science, Bangalore, v.62, p.63-80, 1980.
- TAN, S.C.; LAM, P.F.; ABDULLAH, H. Changes of the pectic substances in the ripening of bananas (Musa sapientum, cultivar Emas) after storage in polyethylene bags. ASEAN Food Journal, v.2, n.2, p.76-77, 1986.
- TERRA, N.N.; GARCIA, E.; LAJOLO, F.M. Starch sugar transformation during banana ripening: the behavior of UDP-glucose pyrophosphorylase, sucrose synthetase and invertase. Journal of Food Science, Chicago, v.48, p.1097, 1983.
- THOMAS, P. Radiation preservation of foods of plant origin. III- Tropical fruits: bananas, mangoes, and papayas. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, Bombay, v.23, n.2, p.147-205, 1986.
- THOMAS, P.; DHARKAR, S.D.; SREENIVASAN, A. Effect of gamma irradiation on the postharvest physiology of five banana varieties grown in India. Journal of Food Science, Chicago, v.36, p.243-247, 1971.

- OK TREWAVAS, A. How do plant growth substance work? Plant Cell Environmental, Oxford, v.4, p.203, 1981.
- VON LOESECKE, H.W. Chemical changes during ripening. IN: VON LOESECKE, H.W. Bananas: chemistry, physiology, technology. New York, Interscience, 1950. cap.4, p.67-118.
- OK WADE, N.L.; KAVANAGH, E.E.; HOCKLEY, D.G.; BRADY, C.J. Relationship between softening and the polyuronides in ripening banana fruit. Journal of the Science of Food Agriculture, London, v.60, p.61-68, 1992.
- OK WADE, N.L.; SATYAN, S.; KAVANAGH, E. Increase in low molecular size uronic acid in ripening banana fruit. Journal of the Science of Food Agriculture, London, v.63, p.257-259, 1993.
- OK YANG, S.F.; HO, H.K. Biochemical studies on post-ripening of banana. Journal of the Chinese Chemical Society, Taipei, v.5, p.71-85, 1958.
- X YANG, S.F.; HOFFMAN, N.E. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. Annual Review of Plant Physiology, Palo Alto, v. 35, p.255-289, 1984.
- OK YOUNG, R.E.; ROMANI, R.J.; BIALE, J.B. Carbon dioxide effects on fruit respiration. II. response of avocados, bananas & lemons. Plant Physiology, Washington, v.37, n.1, p.416-422, 1962.
- ZAUBERMAN, G.; SHIFFMANN-NADEL, M. Pectin methylesterase and polygalacturonase in avocado fruit at various stages of development. Plant Physiology, Washington, v.49, p.864-865, 1972.

APÊNDICE

QUADRO I Análise de Variância de Amido, Açúcares Solúveis Totais (A.S.T.), Pectina Solúvel (P.S.), Pectina Total (P.T.), Relação P.S./P.T., Relação Polpa Casca (P/C)

FATORES	GL	QUADRADOS MEDIOS(QM)					GL	P/C	QM
		AMIDO	A.S.T.	P.S.	P.T.	P.S./P.T.			
RADIAÇÃO(R)	2	0.2895	2.3235*	0.0021	0.0093**	0.0117**	2	0.3381**	
COR(C)	5	519.0324**	416.4478**	0.1964**	0.0934**	0.2898**	5	5.2353**	
R x C	10	0.4126	4.9701**	0.0019*	0.0020	0.0035*	10	0.1030**	
TRAT	17	152.9334	125.6816	0.0591	0.0297	0.0886	17	1.6402	
RESÍDUO	36	0.7628	0.6067	0.0008	0.0016	0.0016	90	0.0104	
CV		13.0625	5.9641	10.0438	5.3754	11.1861		6.0545	
MÉDIA		6.6861	0.2768	0.2768	0.7378	0.3616		1.6831	

* significativo ao nível de 5%

** significativo ao nível de 1%