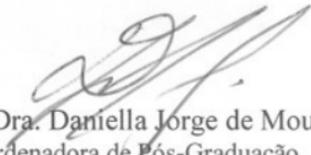


ERRATA

Informamos que, por um erro de digitação no título da referida Dissertação, onde se lê **BANANS** deve-se ler **BANANA**.

FEAGRI/UNICAMP, 18/09/2007.



Prof. Dra. Daniella Jorge de Moura
Coordenadora de Pós-Graduação
FEAGRI/UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**EFEITO DO TRANSPORTE MANUAL NA OCORRÊNCIA DE
DANOS MECÂNICOS EM BANANS (MUSA CAVENDISHII)**

JOSÉ HENRIQUE DOS SANTOS

CAMPINAS,SP
DEZEMBRO DE 1998

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**EFEITO DO TRANSPORTE MANUAL NA OCORRÊNCIA DE
DANOS MECÂNICOS EM BANANS (MUSA CAVENDISHII)**

Dissertação de Mestrado submetida à banca examinadora
Para o título de Mestre em Engenharia Agrícola, na área de
Concentração em Máquinas Agrícolas

JOSÉ HENRIQUE DOS SANTOS

Orientador: Prof. Dr. ANTONIO CARLOS DE OLIVEIRA FERRAZ

CAMPINAS, SP
DEZEMBRO DE 1998

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE -
UNICAMP

Sa59e Santos, José Henrique dos
Efeito do transporte manual na ocorrência de danos mecânicos em banana (*Musa cavendishii*) / José Henrique dos Santos. --Campinas, SP: [s.n.], 1998.

Orientador: Antonio Carlos de Oliveira Ferraz
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Banana. 2. Cultivos agrícolas – Perdas pós-colheita. 3. Cultivos agrícolas – Tecnologia pós-colheita.
I. Ferraz, Antonio Carlos de Oliveira. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

Título em Inglês: Effect of manual transportation in the incidence of mechanical damages in banans (*Musa cavendishii*)

Palavras-chave em Inglês: Produce, Losses, Mechanical tests, Pos harvest

Área de concentração: Máquinas Agrícolas

Titulação: Mestre em Engenharia Agrícola.

Banca examinadora: Silvio Roberto Pente Roberto Funes Abrahão

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar á Deus pela força, determinação e disposição de ter vencido mais um desafio profissional.

A minha família: mãe (Araci de Paiva Santos), irmãs (Jeane de Paiva Santos, Luciula de Paiva Santos, Niljane de Paiva Santos), filhos (José Quinto dos Santos e Bianca Pereira Belline dos Santos), a quem devo além da vida, todo o conteúdo aqui apresentado.

Especialmente a minha esposa, Márcia Pereira Belline dos Santos pelo estímulo, dedicação e ânimo durante a finalização do trabalho.

A Tia Anecy Neves do Lago pela acolhida em seu lar durante todo o período de desenvolvimento do trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Antonio Carlos de Oliveira Ferraz, não só pela orientação no trabalho, mas também pela orientação de vida durante o período que permanecemos desenvolvendo o conteúdo da tese.

A Faculdade de Engenharia Agrícola e seus funcionários por ter concedido e ajudado para a conclusão deste trabalho.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	ii
LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE SÍMBOLOS	viii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	01
OBJETIVOS.....	02
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	
2.1. ASPÉCTOS ECONÔMICOS.....	03
2.1.1. Fruticultura Brasileira.....	03
2.1.2. Bananicultura Brasileira.....	04
2.2. CARACTERÍSTICAS DA BANANA.....	05
2.2.1. Características Botânicas.....	05
2.2.2. Cultivo da Banana.....	08
2.3- ESTUDO DO MATERIAL BIOLÓGICO.....	17
2.3.1. Solicitação Axial de Tração.....	20
2.3.2. Solicitação Axial de Compressão.....	21
3. MATERIAL E MÉTODOS	
3.1. DANOS MECÂNICOS DEVIDO AO TRANSPORTE MANUAL.....	24
3.2. DETERMINAÇÃO DA ÁREA DE CONTATO ENTRE FRUTOS E OMBRO DURANTE O TRANSPORTE MANUAL.....	24
3.3. VARIAÇÃO NA ACELERAÇÃO DURANTE O TRANSPORTE MANUAL EM VÁRIAS SUPERFÍCIES E TOPOGRAFIAS.....	25
3.4. ENSAIOS DE COMPRESSÃO.....	27
3.4.1. Ensaios de Penetração.....	27
3.4.2. Ensaios de Compressão do Fruto Inteiro Entre Pratos Planos e Paralelos.....	29

3.4.3. Ensaio Cíclico de Compressão.....	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	
4.1. DANOS MECÂNICOS DEVIDO AO TRANSPORTE MANUAL.....	31
4.2. DETERMINAÇÃO DA ÁREA DE CONTATO ENTRE FRUTOS E OMBRO DURANTE O TRANSPORTE MANUAL.....	32
4.3. VARIAÇÃO NA ACELERAÇÃO DURANTE O TRANSPORTE MANUAL EM VÁRIAS SUPERFÍCIES E TOPOGRAFIAS.....	33
4.3.1. Superfície Plana de Concreto.....	33
4.3.2. Superfície Irregular-Grama.....	35
4.4. ENSAIOS DE COMPRESSÃO.....	36
4.4.1. Ensaio de Penetração.....	36
4.4.2. Ensaio de Compressão do Fruto Inteiro Entre Pratos Planos e Paralelos.....	40
4.4.3. Ensaio Cíclico.....	43
5. CONCLUSÕES.....	47
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1. Medição do diâmetro do fruto de banana com auxílio do calibre.....	10
Figura 2. Colheita ideal do cacho.....	12
Figura 3. Transporte dos cachos de banana protegido em carreta.....	12
Figura 4. Unidade beneficiadora de bananas.....	13
Figura 5. Diagrama esquemático do dispositivo utilizado para medir as acelerações durante o caminhamento.....	26
Figura 6. Representação esquemática da topografia onde foi realizada a aquisição dos dados.....	26
Figura 7. Dispositivo de medição das acelerações durante o caminhamento.....	27
Figura 8. Ensaios de compressão com ponteira.....	28
Figura 9. Vista geral dos equipamentos utilizados nos ensaios de compressão.....	29
Figura 10. Variação da força durante o caminhamento sob superfície plana de concreto.....	34
Figura 11. Freqüência de ocorrência de forças aplicadas durante o caminhamento em superfície plana de concreto.....	34
Figura 12. Freqüência de acelerações aplicadas durante o caminhamento em superfície plana de concreto.....	35
Figura 13. Variação da força durante o caminhamento sob superfície irregular com Grama.....	35
Figura 14. Freqüência de ocorrência de forças durante o caminhamento sob superfície irregular com grama.....	36
Figura 15. Freqüência de acelerações aplicadas durante o caminhamento em superfície irregular de grama.....	36
Figura 16. Aparência de bananas após ensaios destrutivos de compressão aplicadas vários níveis de carga.....	37
Figura 17. Efeito na casca do fruto ao ser aplicada força de 180 N.....	37
Figura 18. Aparência de bananas submetidas a cargas de ruptura, 280, 260, 240 220 e 200 N.....	38
Figura 19. Aparência de bananas submetidas a cargas de até 180 N.....	38

Figura 20. Aparência de bananas submetidas a cargas de até 280 N.....	39
Figura 21. Aparência de bananas submetidas a ensaios de compressão com ponteira, até a ruptura, na porção mediana.....	39
Figura 22. Característica da aplicação de uma força até ruptura sem acompanhamento de escurecimento externo do tecido.....	40
Figura 23. Variação de força para ciclos de 1 mm de amplitude.....	44
Figura 24. Variação de força para ciclos de 0,5 mm de amplitude.....	44

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1. Características químicas de cultivar de bananas.....	09
Tabela 2. Graus de coloração de casca na maturação de banana.....	09
Tabela 3. Definição dos tipos de cachos/bananas do grupo II.....	14
Tabela 4. Definição dos tipos de cachos/bananas do grupo I.....	14
Tabela 5. Pencas ou Buquês: definição dos tipos de bananas do grupo I.....	15
Tabela 6. Pencas ou Buquês: definição dos tipos de bananas do grupo II.....	16
Tabela 7. Componentes de qualidade para frutos de hortaliças.....	18
Tabela 8. Índice de danos para mancha, abrasão e número de pedúnculos danificados devido ao transporte manual avaliado quatro dias após a colheita.....	32
Tabela 9. de danos para mancha, abrasão e número de pedúnculos danificados devido ao transporte manual avaliado quatro dias após a colheita, nos cachos testemunhas.....	32
Tabela 10. Área de contato entre o ombro do carregador e os frutos para um ângulo de inclinação de 12,7°	33
Tabela 11. Valores de escoamento biológico, força de ruptura e deformação correspondente para frutos da banana comprimidos entre pratos planos paralelos.....	41
Tabela 12. Comparação das médias para deformação no escoamento biológico.....	42
Tabela 13. Comparação das médias para força máxima.....	42
Tabela 14. Comparação das médias da deformação na força máxima.....	43
Tabela 15. Características do fruto e resultado da compressão cíclica entre pratos planos e paralelos: peso, diâmetro (ϕ), deformação específica (ϵ), força máxima (F_{\max}), força mínima (F_{\min}), valores de pré-carga no 30° e 60° ciclos.....	45

LISTA DE SÍMBOLOS

ε	- Deformação específica
δ	- Alongamento
l	- Comprimento
σ	- Tensão normal
P	- Força
A	- Área
E	- Módulo de elasticidade ou Young
σ_e	- Tensão de escoamento
K	- Módulo volumétrico
μ	- Coeficiente de Poisson
Υ	- Distorção específica de cisalhamento

RESUMO

No Brasil, as perdas na colheita e pós-colheita estão estimadas em 30 a 40% da produção. As hortícolas são as espécies vegetais cultivadas economicamente que mais contribuem para a manutenção deste elevado índice de perdas. Dentre elas, destacam-se as frutas, e em especial a banana, com perdas totais estimadas em 40%. O conhecimento das propriedades mecânicas dos materiais biológicos contribui não só para o projeto e desenvolvimento de equipamentos de colheita e pós-colheita, como também para a melhor gestão da qualidade e vida útil dos produtos. Neste trabalho avaliou-se o efeito do transporte manual quanto aos danos produzidos nos frutos da bananeira (*Musa cavendishii*), determinaram-se as áreas de contato entre ombro do carregador e frutos, mediram-se as acelerações produzidas nos frutos durante o transporte manual, para topografias plana, acidentada e em superfícies gramada e de concreto. Realizaram-se ensaios mecânicos de penetração, de compressão entre pratos planos e paralelos e ensaios cíclicos de compressão. Resultados evidenciaram a sensibilidade dos frutos aos danos mecânicos mesmo no estágio verde. Danos no pedúnculo não foram observados devido a ação do transporte. Observaram-se acelerações entre 0,15 a 1,35g ($9,8\text{ms}^{-2}$) indicando cargas significativas de compressão, adicionais ao peso próprio, geradas durante o caminhamento. Compressões com cargas crescentes não produziram manchas de tamanhos correlacionados com a intensidade da carga revelando que o tamanho dos danos constitui bom indicador da severidade da solicitação mecânica. Os ensaios de compressão do fruto inteiro, entre pratos planos e paralelos, revelaram escoamento biológico e diferentes níveis de resistência entre frutos localizados nas regiões superior, média e inferior do cacho. Os ensaios cíclicos de compressão revelaram que solicitações repetidas de pequenas amplitudes podem promover modificações permanentes no fruto com grande potencial de danos. De uma forma geral concluiu-se que danos mecânicos estão presentes no transporte manual e que soluções para proteção do cacho ou dispositivos de auxílio ao transporte sejam necessários para a redução desses danos.

ABSTRACT

Around 30% to 40% of total losses of agricultural production in Brazil occurs during harvesting and post harvesting processes. Fruits and vegetables are the major contributor to these high losses. Among them, banana can reach losses up to 40% of total production. The knowledge of mechanical properties of fruits and vegetables is important not only for better designing of handling equipment but also to improve quality management as well as shelf life. This work reports the development of a methodology to evaluate the mechanical damage of banana fruit during manual transportation. It was measured the contact area between shoulder and fruit, accelerations during manual transportation on irregular topography on grass and concrete surfaces. Mechanical tests of penetration, compression and cyclic compression between parallel rigid plates were also performed. Results brought into evidence the high sensitivity of green banana fruits to mechanical loads. Damages in the peduncle were not observed after manual transportation. Values of acceleration between 0,15 and 1,35 g ($g=9,8\text{ms}^{-2}$) were measured indicating significant additional load to the weight of the bunch during transportation. Compressions using increasing loads did not produce bruise areas correlated to load values revealing that bruise area is not a good indicator of the magnitude of the applied load. Simple compression between flat plates revealed the presence of bio-yielding and different mechanical resistance in whole fruits grown in the upper, medium and lower part of the bunch. Cyclic compression showed that repeated loads of even of small amplitudes may promote permanent changes in mechanical behavior of the tissues with great possibility of damaging them. It was concluded that mechanical damages are present during manual transportation and solutions for protection of the bunch and development of transportation aids are desirable to reduce those damages.

1- INTRODUÇÃO

O controle de qualidade, tanto dos frutos para o consumo “in natura” como daquelas para o processamento, objetiva fornecer produtos com qualidade padronizada e constante. As características dos produtos frutícolas são resultantes da interação de vários fatores, tanto da fase de pré como pós-colheita, que podem ser agrupados em diferentes categorias, tais como: fatores genéticos (cultivares, porta-enxerto); fatores climáticos (temperatura, luz, vento, chuva); fatores culturais (solo, irrigação, adubação, desbaste, poda, controle fitossanitário, época e método de colheita); estágio de maturação e tratamento pós-colheita (fatores ambientais, métodos de manuseio entre a colheita e o consumo). A não observação de técnicas adequadas, na colheita e manuseio no pós-colheita da banana, causam perdas irreparáveis no produto, levando-o à depreciação, tanto no valor nutritivo como no econômico. Assim sendo, é importante que haja conscientização para melhor manuseio do produto em toda a cadeia de comercialização, ou seja, da colheita até o consumidor. O tecido vegetal suporta certas solicitações mecânicas, sem que haja ocorrência de prejuízo na qualidade final. Se a solicitação exceder o limite de resistência do tecido, as células não conseguem regenerar, resultando em danos no produto, reduzindo sua qualidade, inviabilizando a comercialização. O presente trabalho enfoca os problemas associados aos danos mecânicos e as conseqüentes perdas de qualidade do produto, associados ao transporte manual, efetuado logo após o corte do cacho, da bananeira até o local de benefício. Esse tipo de transporte, de especial importância principalmente nos pomares implantados em áreas acidentadas, dificulta a introdução de qualquer aparato auxiliar, é bastante utilizado no Brasil. No entanto, a interação entre os frutos e o carregador pode afetar a qualidade do produto final dos melhores frutos do cacho.

OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos das solicitações mecânicas no tecido do pericarpo e mesocarpo do fruto da banana, gerados durante o transporte manual dos cachos.

Os objetivos específicos são quantificar os danos mecânicos durante o transporte manual, determinar a área de contato entre ombro e cacho, medir as acelerações durante o transporte manual, em terreno plano e acidentado e para superfícies de grama e concreto, realizar ensaios de compressão, para determinar a resistência dos frutos e sensibilidade a vários níveis de carga, e ensaios cíclicos de compressão para avaliar seus efeitos no fruto.

2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1- ASPECTOS ECONÔMICOS

2.1.1- Fruticultura Brasileira

GOÉS (1993) cita que, nos próximos cem anos, a produção agrícola precisará crescer 3% ao ano para alimentar uma população que dobra a cada geração e, se não houver alteração da área de 1,45 bilhões de hectares explorados, a relação terra agrícola por habitante decairá de 0,3 ha/hab para 0,23 ha/hab no ano 2000; 0,15 ha/hab em 2050 e de 0,14 ha/hab em 2100 que é uma relação mínima capaz de assegurar a segurança alimentar da população. Necessitamos uma média de 0,1 ha/pessoa o que significa 8 milhões de ha/ano. BÁRTHOLO (1994) relata que a fruticultura é um ramo agrícola responsável pela produção de alimentos de alto valor nutritivo, vitamínico e mineral e, associada aos aspectos econômicos e sociais, ocupa lugar de destaque no “agribusiness”. Além do suprimento normal do organismo, as frutas apresentam propriedades terapêuticas, o que as colocam entre as recomendações de nutricionistas para dietas que buscam o equilíbrio do corpo humano. O Brasil possui um grande pomar que, segundo as estimativas da Food And Agriculture Organization Of The United Nations (FAO), citado por BÁRTHOLO (1994), o coloca como o maior produtor de frutas do mundo representando 7% da produção. De acordo com o Ministério da Agricultura (1994), o Brasil produz 32 milhões de toneladas de frutas por ano em 2 milhões de hectares, e apresenta um baixo consumo “per capita” em relação aos países desenvolvidos, que atingem a 100 kg/ano, contra 4 kg/ano do Brasil.

De acordo com VILAS (1994), as exportações de frutas não ultrapassam a US\$ 15 milhões enquanto que no Chile respondem por US\$ 1,5 bilhões.

A maneira de conduzir a produção tem enorme influência na qualidade final do fruto. Uma série de fatores - escolha da região, do clima, preparo do solo, espaçamento, cultivar, semente, adubação, tratos culturais - estão intimamente associados ao resultado final, bem como a determinação do ponto e método de colheita, transporte, uso do frio, embalagens, etc. O fruticultor brasileiro está preocupado em produzir grandes quantidades, esquecendo-se da qualidade. Por isso, tem sido pago um preço com prejuízos que ocorrem no manuseio inadequado dos frutos na colheita e pós-colheita, o que também diminui as oportunidades de alcançar bons preços, por desconhecimento, e muitas vezes, por negligência. Nos países em

desenvolvimento, caso do Brasil, as perdas na pós-colheita de frutos frescos são estimadas na ordem de 20 a 50%, variando conforme o produto, enquanto que nos países desenvolvidos esta porcentagem cai para 5 a 25%.

No caso específico da banana, segundo a ABRe, Associação dos Bananicultores de Registro (1994), as perdas podem em alguns casos atingir até 70 % da produção, sendo durante todo o manejo e manuseio da espécie, assim distribuídas: 20 % na produção, 15% na colheita, incluindo a falta de tratamento pós-colheita no barracão, 15% na embalagem de madeira (torito), ou mais 30% se a venda for em cachos, 5% no transporte, 5% a 10% no manuseio das pencas em feiras e supermercados. Os fatores técnicos de pós-colheita e qualidade, são preocupantes. Ambos demandam o emprego de novas tecnologias e mudança de mentalidade por parte dos produtores, uma vez que prejuízos ou pequenas margens de lucros estão diretamente associados àqueles fatores.

BÁRTHOLO (1994) defende que correto manuseio dos produtos agrícolas retarda os processos de senescência e decomposição, implicando em tempo mais prolongado de comercialização. Segundo CHITARRA & CHITARRA (1990), a minimização de perdas pelo emprego de técnicas adequadas trará benefícios de grande valia a todos os segmentos da cadeia de comercialização.

2.1.2- Bananicultura Brasileira

SILVA (1993) salienta que o cultivo da banana é uma das atividades de maior destaque na fruticultura nacional, possuindo de 450 a 500 mil hectares cultivados, justificados pela sua simplicidade, custo de implantação, manejo, ciclo e vida útil, em comparação às outras frutíferas. A posição no ranking mundial na produção de banana coloca o Brasil em posição de destaque, tanto em produção como exportação. Segundo TAGLIARI & FRANCO (1994), o Brasil foi líder mundial na exportação de banana, chegando a exportar 5 milhões de toneladas por ano, mas perdeu sua posição no ranking para países como o Equador, Costa Rica, Colômbia que apresentam produção menor mas evoluíram na qualidade final do produto. Um dado surpreendente, é que os Estados Unidos já estão superando o Brasil na exportação desta fruta, com 154 mil toneladas contra 150 mil do nosso país. O pesquisador ainda descreve que de acordo com dados do CEPA/SC, a Índia é o maior produtor mundial de banana com 6,4 milhões de toneladas, seguida pelo Brasil com 5,63 milhões e Filipinas com

3,5 milhões, sendo que o Equador é classificado pelo instituto como o maior exportador atualmente e o quarto em produção com 2,95 milhões de toneladas. A Agrofolha (1993) destaca que a banana brasileira é exportada principalmente para a Argentina e Uruguai, sendo que no ano de 1992 ocupou o terceiro posto no ranking das exportações brasileiras de frutas, com receita de US\$ 14,3 milhões entre janeiro a novembro, e foi responsável por apenas 1% das exportações mundiais desta fruta avaliada em 10 milhões de toneladas.

A queda do Brasil no ranking mundial de exportadores de banana tem como grande motivo à baixa qualidade final do produto, o que levou os importadores a reduzirem drasticamente a aquisição do produto brasileiro dando preferência à Equatoriana, Indiana ou Colombiana.

A banana é apreciada por pessoas de todas as classes sociais e idades, que a consomem “in natura”, frita, assada, cozida, em calda e doces caseiros, ou em produtos industrializados. Para MEDINA (1990) o consumo diário de banana seja, talvez, maior que qualquer outra fruta, mas o consumo per capita brasileiro, segundo o Agrofolha (1993) é estimada em 2,5 kg considerado baixo em relação a Alemanha estimado em 25,5 kg. Além da grande diversificação de consumo, também apresenta propriedades medicinais, sendo utilizada na recuperação de desidratação infantil devido ao tanino, substância por ela fornecida quando verde, que tem capacidade de revestir as paredes intestinais e o tubo digestivo.

A bananicultura constitui hoje a principal fonte de divisas para diversos países como a Costa Rica, Equador, Honduras, Panamá, Colômbia e Guatemala, enquanto no Brasil já teve seu momento de ascensão, onde produtores erradicavam culturas tradicionais na região para incorporação da banana na renda da propriedade, pois o fácil manejo, produção durante todo o ano, agressividade em relação a outras culturas exploradas comercialmente, foram motivos para a sua escolha, mas, a comercialização, perecibilidade, demanda foram fatores que desestimularam a sua expansão.

2.2- CARACTERÍSTICAS DA BANANA

2.2.1- Características Botânicas

A origem da bananeira é extremamente obscura, no entanto, as principais autoridades científicas contemporâneas atribuem a sua origem à Índia, Malásia e Filipinas, onde a planta é cultivada desde há mais de 4000 anos. A banana é uma cultura explorada em quase todos os

municípios brasileiros, em maior ou menor quantidade, em altitudes que vão de 0 até 1000 metros. MOREIRA (1987), salienta as exigências dos mercados europeu e americano em relação às qualidades organolépticas da banana, o que limita muita as possibilidades de que regiões geográficas abaixo do Espírito Santo venham a se tornar exportadoras da fruta para os referidos mercados, e que, as tradicionais regiões bananícolas da Baixada Fluminense, litoral paulista e Vale do Ribeira se aprimorem para produzirem e abastecerem, o ano todo, os mercados das grandes metrópoles brasileiras e platinas.

Inicialmente, a exploração desta cultura foi direcionada pelos agricultores brasileiros como aproveitamento de áreas não viabilizadas à instalação das principais culturas economicamente exploradas no país, fazendo com que a banana fosse cultivada em declives acentuados e em solos pedregosos, condições limitantes as aptidões agrícolas de certas culturas comerciais.

MOREIRA (1987) descreve que do ponto de vista comercial, predominam as variedades prata, nanica, nanicão, maçã, exploradas nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso e Goiás, e que o nanicão é a única variedade exportada por preencher os requisitos do comércio internacional quanto ao sabor, qualidade, tamanho e nível técnico de produção.

A banana (Musa sp) é um vegetal completo, ou seja, apresenta raiz, tronco (pseudocaule), folha, flores, frutos e sementes. Pertence, na classificação botânica, à família MUSACEAE, ordem SCITAMINAE, sub divisão MONOCOTYLEDONEA, compreende três famílias MUSOIDEAE, STRELITZOIDEAE e HELICOINOIDEAE. A sub família Musoideae é composta de dois gêneros Musa e Ensete, onde gênero *Ensete* são mais utilizadas com plantas ornamentais não produzindo frutos comestíveis, enquanto que, gênero *Musa* filiam todos os cultivares produtores de frutos partenocarpicos, isto é, frutos de polpa abundante e comestíveis e de valor econômico.

MEDINA (1990) relata que a bananeira é propagada por via vegetativa a partir de seu rizoma, brotado ou sem brotação. Normalmente, essa planta se multiplica vegetativamente através da emissão de novos filhos (rebentos) que se originam do intumescimento de gemas vegetativas externas da planta primitiva (planta mãe), localizada na região do rizoma. Ao conjunto de duas ou mais plantas dá-se o nome de touceira, que, botanicamente, é formada por rebentos que constituem a primeira, segunda, terceira, etc... gerações da muda original,

popularmente chamadas de mãe, filho, neto sendo que a mãe é a planta mais velha, filho é todo e qualquer rebento originado do intumescimento e posterior desenvolvimento de uma gema vegetativa (olhadura) localizada na planta mãe, e o neto como sendo todo e qualquer rebento originado da planta filho. O rizoma ou caule subterrâneo é a parte da planta onde se apóiam direta ou indiretamente todos os órgãos da planta, e é formado, de duas partes: córtex, que desempenha um papel de proteção, e o cilindro central, parte viva que origina o sistema aéreo, radicular e os filhotes (brotos, rebentos, ou perfilhos). O desenvolvimento se processa basicamente a partir de um conjunto de células, denominado gema apical de crescimento, sempre localizada no centro do colo da bananeira, porém implantada no cilindro central do rizoma circundando a gema apical. Há uma série de arcos de círculos concêntricos moldados no colo da bananeira, os quais correspondem as linhas de fixação das bainhas das folhas. A gema apical de crescimento é responsável pela formação das folhas da bananeira e das gemas laterais de brotação. Como a folha e a gema lateral de brotação são formadas simultaneamente, pode facilmente concluir que a planta tem tantas dessas gemas quantas forem as folhas geradas. Depois de gerar o total de folhas que a planta poderia ter, a gema apical, devido a uma série de fatores, cessa essa atividade e há uma modificação no seu aspecto transformando-se no órgão de frutificação denominado *Inflorescência*, que é uma espécie de espiga simples, terminal, constituída de um eixo (engaço) no qual se inserem as flores em conjunto nodais (mão ou penca). A taxa de crescimento da inflorescência, embora dependendo de condições ecológicas, é regular; quase diariamente uma penca amadurece e é exposta pela elevação de sua respectiva bráctea, a qual protege a penca e pode ocorrer ou não a sua queda com o passar do tempo, característica esta que depende do cultivar.

MOREIRA (1987) define ciclo vegetativo de uma bananeira como sendo o período compreendido entre o seu aparecimento na superfície da terra, sob a forma de “filhote”, e a colheita da sua produção, e, ciclo de produção o intervalo de tempo decorrido entre a colheita do cacho de uma bananeira e a colheita do cacho de seu filho. O ciclo vegetativo e o de produção são afetados por fatores que atuam, direta ou indiretamente, na fisiologia da bananeira como, idade, densidade, insolação deficiente, latitude, fertilidade do solo, deficiência hídrica, tratamentos culturais, etc...

As bananeiras de frutos comestíveis geralmente não produzem pólen e os seus ovários não são fecundados, porque um atrofiamento do estigma impede a passagem do pólen.

Há casos, porém, de não atrofiamento e a fecundação poderá processar normalmente, citação de MEDINA (1990). O mesmo autor também descreve que uma mesma inflorescência, normalmente as flores masculinas, se desenvolve após as femininas. Portanto, a autofecundação é impossível, porém, diferentes rebentos da mesma planta podem produzir sua inflorescências simultaneamente, de modo que a autofecundação é totalmente possível. O pólen é viscoso e transportado por determinadas espécies de insetos, morcegos e mesmo pássaros.

2.2.2- Cultivo da Banana

Para a instalação do bananal, o plantio é feito através de mudas, onde os brotos no momento da propagação podem se encontrar em diferentes estádios de desenvolvimento ou tamanho, segundo os quais as mudas recebem denominações que as identificam. Assim, existem diferentes tipos de mudas. O rizoma, por outro lado, pode ser utilizado inteiro ou subdividido, desde que este possua duas gemas e pesem em torno de 800 gramas aproximadamente. Em média, segundo MOREIRA (1987), a colheita do primeiro cacho ocorre de 12 a 18 meses de idade do bananal, a do segundo, aos 22 meses e a do terceiro em torno de 28 meses. Após este período registra-se um alongamento do ciclo de produção passando a obter colheitas em média a cada 12 meses, período este que continua aumentando com a idade do bananal, e que tende a uniformização por volta dos 18 meses. O cacho deverá ser colhido quando os dedos de bananas atingirem o desenvolvimento conveniente para o mercado a que se destina, bem como para a embalagem que vai ser utilizada.

O grau de maturação ótimo para a colheita depende do uso que se fará do produto - consumo direto ou processamento - e é decisivo para o seu potencial de conservação.

WARDLAW (1939) e LOESEKE (1950), citados por CHITARRA (1994), defendem que o mecanismo para melhor avaliação do estágio de colheita é a vivência com o produto através do constante manuseio com o mesmo. Tem sido mencionado que as bananas brasileiras são perfeitamente comparáveis àquelas produzidas pelos líderes de comercialização mundial desta fruta, mas somente enquanto na planta. Já na colheita, devido a má qualidade dos serviços executados na operação, inicia-se a destruição de todo esforço feito pelo homem e pela natureza durante o ciclo. A revista *Veja* (28/09/94) publicou artigo com o título “A banana padrão” relatando que os burocratas da União Européia decretaram que, a partir de 1995, só

serão comercializadas nos doze países do mercado comum europeu teriam padrão mínimo 14 cm de comprimento e por 27 mm de diâmetro, quando verdes. BÁRTHOLO (1994) descreve que CSIRO (1972) e SGARBIERI et al. (1965), estudaram as características químicas de alguns cultivares de bananas cultivadas no Brasil e verificaram as transformações químicas de alguns elementos como mostrado nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Características químicas de cultivares de banana

Cultivares	Estádio de maturação	Polpa/Casca	Acidez (%)	Sólidos Solúveis (%)	Amido (%)	Açúcares Totais (%)
Prata	verde	1,59	0,224	0,92	20,92	0,19
	madura	2,41	0,569	22,36	4,78	13,50
Nanica	verde	1,23	0,325	3,25	19,91	0,43
	madura	1,74	0,512	19,60	0,99	16,79
Nanicão	verde	1,58	0,269	0,78	22,50	0,76
	madura	1,96	0,272	19,72	1,90	14,29

FONTE: Sgarbieri et al. (1965/1966)

Tabela 2. Graus de coloração da casca na maturação de banana

Grau	Coloração da Casca	Amido (%)	Açúcares Totais (%)
1	verde	20,0	0,5
2	verde, traços de amarelo	18,0	2,5
3	mais verde que amarelo	16,0	4,5
4	mais amarelo que verde	13,0	7,5
5	amarelo, pontas verdes	7,0	13,5
6	totalmente amarelo	2,5	18,0
7	amarelo com leves manchas marrons	1,5	19,0
8	amarelo com aumento de áreas marrons	1,0	19,0

FONTE: Csiro (1972)

MOREIRA (1987) cita dois métodos para padrões de colheita de banana; o da observação prática visual, ditada pela experiência do bananicultor, podendo indicar um ponto próximo ao ideal de colheita, baseando-se na plenitude do desenvolvimento da fruta levando em

consideração a angulosidade das quinas na casca e a utilização do calibre para medir o diâmetro das frutas localizadas na porção mediana da 2ª penca. A medição é realizada através de calibre, em geral confeccionado em chapa de aço inox estampada, em forma de U contendo abertura expressa em milímetros variando de 30 a 38 milímetros (Figura 1).

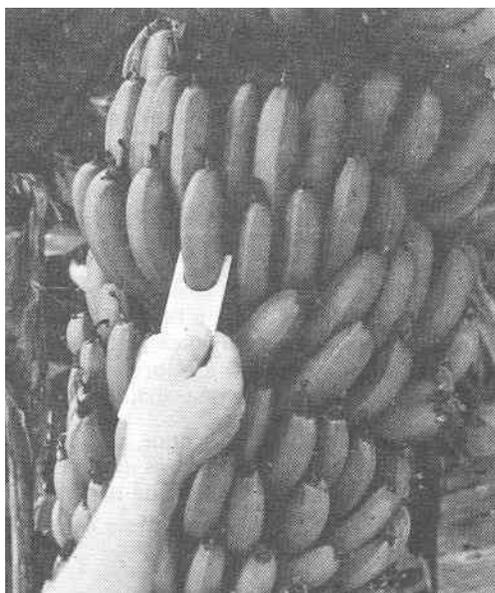


Figura 1. Medição do diâmetro do fruto de banana com auxílio do calibre (Fonte: MEDINA 1990)

CHITARRA (1994) apresenta como principais objetivos da colheita a retirada dos produtos do campo em níveis adequados de maturidade, com um mínimo de danos ou perdas, no menor tempo possível e com um custo mínimo. Estes objetivos são melhores atingidos na maioria das frutas através da colheita manual.

A colheita da banana é a operação pela qual o cacho é separado da bananeira por seccionamento do pseudocaule, geralmente executado com facão, penado ou foice. É uma operação básica de maior importância, independente do destino a que se pretenda dar a fruta. Quando mal realizada poderá comprometer todo o esforço gasto na produção.

É uma operação manual, mas quando realizada mecanicamente tem como desvantagens a dificuldade de colheita seletiva, danificar os frutos e ser um processo dispendioso. Israel é um dos países em que se processa a colheita mecânica da fruta, com mecanismo de corte e aparato de transporte do cacho. No processo de colheita manual de banana, o cortador com a ferramenta cortante em uma das mãos e com a outra segurando o final do engaço do cacho (rabo) efetua um pequeno corte no pseudo-caule da planta ao nível da roseta foliar para que ocorra o seu arqueamento. Levantando o final do engaço e apoiando-o sobre a coxa, o trabalhador consegue que o cacho toque suavemente ao solo, que já deverá estar forrado com folha da bananeira. Um corte brusco na parte superior do engaço, próximo a inserção da penca de banana mais velha, tem por fim a separação do cacho da planta (MOREIRA 1987).

TAGLIARI (1994) salienta a necessidade do cortador trabalhar com um ajudante na operação de colheita, protegendo o cacho contra queda e outros danos e transporta-lo até o local de expedição na lavoura.

Visando preservar a qualidade final do produto, técnicos, em conjunto com bananicultores, vêm desenvolvendo sistemas de colheita e manuseio pós colheita do cacho com a finalidade de diminuir danos e injúrias que por ventura possam ocorrer nestas fases. Um desses sistemas é o ensacamento do cacho em sacos de algodão previamente a sua separação da planta de origem. O benefício deste, está relacionado com a facilidade de transporte do cacho até o local de beneficiamento, além de reduzir o contato dos frutos entre si e com materiais que podem causar lesões. Para eficácia deste sistema faz-se necessário à colocação de apenas um cacho por saco.

O sistema de colheita na maioria dos cultivos vem sendo empregado de modo ainda rudimentar. TAGLIARI (1994) descreve outro sistema de colheita e manuseio do cacho onde o ajudante do cortador, responsável em aparar e transportar o cacho da planta até a expedição, tem o ombro protegido por uma manta de espuma, câmara de ar ou através de padiola acolchoada, que recebe o cacho e o manuseia com menor possibilidade de danos e injúrias, como mostra a Figura 2.



Figura 2. Colheita ideal do cacho (Fonte: MOREIRA 1987)

Após a colheita, o cacho é levado até o local de embarque da lavoura para o barracão de beneficiamento, percurso este feito no ombro do carregador ou nas costas de animais. No local de embarque na lavoura, o traslado até o barracão de beneficiamento é realizado, principalmente, através de carretas de trator ou de caminhão, Figura 3.

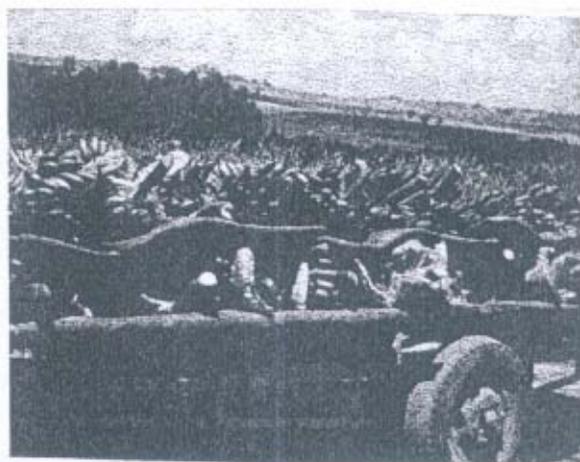


Figura 3. Transporte dos cachos de banana protegido em carreta (Fonte: MEDINA-1990)

Havendo portanto outras opções aplicadas em regiões de nível técnico mais elevado como o transporte do cacho em carretas construídos sobre chassi de caminhão (Figura 4) os

sustentando pendurados em ganchos e, o traslado através de cabos aéreos, sistema que vem sem empregado em áreas bananícolas do sul do país.



**Figura 4- Unidade beneficiadora de bananas
(Fonte: AGROFOLHA 1993)**

A comercialização da banana “in natura” segue normas e padrões de identificação, qualidade e embalagem, estabelecidas pelo Ministério da Agricultura através da Secretaria Nacional de Abastecimento, publicada em 1981, onde a classifica em dois grandes grupos: Grupo I (Cavendish), representado basicamente pelos cultivares nanica, nanicão; Grupo II representado pelos cultivares ouro, prata, maçã. De acordo com o grupo a que pertence, a banana é classificada nos tipos extra, especial, comercial e comum (Tabelas 3, 4, 5 e 6).

Tabela 3. Definição dos tipos de cachos/bananas do Grupo II

ESPECIFICAÇÕES	CULTIVARES	TIPOS		
		Extra	Especial	Comercial
Peso mínimo do cacho (kg)	ouro	5	4	3
	prata	8	5	3
	maçã	8	5	3
Comprimento mínimo dos frutos (mm)	ouro	80	60	50
	prata	120	150	80
	maçã	110	90	70
Diâmetro mínimo dos frutos (mm)	ouro	25	20	15
	prata	35	30	25
	maçã	35	30	25
Cachos com defeitos graves (máximo)	Ouro	2%	5%	10%
	prata	2%	5%	10%
	maçã	2%	5%	10%
Cachos com defeitos gerais (máximo)	Ouro	10%	15%	20%
	prata	10%	15%	20%
	maçã	10%	15%	20%

FONTE: Brasil (1981)

Tabela 4. Definição dos tipos de cachos/bananas do Grupo I

ESPECIFICAÇÕES	TIPOS			
	Extra	Especial	Comercial	Comum
Peso mínimo do cacho (kg)	27	22	22	20
Comprimento mínimo dos frutos (mm)	150	150	150	120
Diâmetro mínimo dos frutos (mm)	30 a 36	30 a 36	25	20
Cachos com defeitos graves (máximo)	0%	0%	5%	10%
Cachos com defeitos gerais (máximo)	5%	5%	5%	20%

FONTE: Brasil (1981)

Tabela 5. Pencas ou Buquês: definição dos tipos de bananas do Grupo I

ESPECIFICAÇÕES	TIPOS			
	Extra	Especial	Comercial	Comum
Comprimento mínimo dos frutos (mm)	200	180	150	120
Diâmetro mínimo dos frutos (mm)	30 a 36	30 a 36	28	25
Pencas ou buquês com defeitos graves (máximo)	0%	0%	5%	10%
Pencas ou buquês com defeitos gerais (máximo)	(1)	(2)	15%	20%
Pencas ou buquês com desenvolvimento diferenciado (máximo)	(1)	(2)	15%	20%
Mistura de tipos (máximo)	-	-	10%	20%

(1) Admite-se a ocorrência de defeitos gerais em até dez frutos por caixa, desde que o total acumulado de frutos com defeitos gerais e desenvolvimento não ultrapasse 5% do lote ou partida.

(2) Admite-se a ocorrência de defeitos gerais em até dez frutos por caixa, desde que o total acumulado de frutos com defeitos gerais e desenvolvimento não ultrapasse 10% do lote ou partida.

FONTE: Brasil (1981)

Tabela 6. Pencas ou Buquês: definição dos tipos de bananas do grupo II

ESPECIFICAÇÕES	CULTIVARES	TIPOS		
		Extra	Especial	Comercial
Comprimento mínimo dos frutos (mm)	Ouro	90	70	60
	Prata	120	100	80
	Maçã	110	90	70
Diâmetro mínimo dos frutos (mm)	Ouro	25	20	15
	Prata	35	30	25
	Maçã	35	30	25
Pencas e/ou buquês com defeitos graves (máximo)	Ouro	2%	5%	10%
	Prata	2%	5%	10%
	Maçã	2%	5%	10%
Pencas e/ou buquês com defeitos gerais (máximo)	Ouro	10%	15%	10%
	Prata	10%	15%	10%
	Maçã	10%	15%	10%
Pencas e/ou buquês com desenvolvimento diferenciados (máximo)	Ouro	2%	5%	10%
	Prata	2%	5%	10%
	Maçã	2%	5%	10%
Mistura de tipos (máximo)	Ouro	10%	20%	30%
	Prata	10%	20%	30%
	Maçã	10%	20%	30%

FONTE: Brasil (1981)

A banana pode ser comercializada através de cacho que é o conjunto de pencas presas ao engaço; em penca que é o conjunto de dedos de bananas fixados pela almofada floral contendo no mínimo nove frutos; em buquê que é parte de uma penca composta no mínimo por três e no máximo oito frutos. No mercado interno, a comercialização pode ser realizada por meio de cacho sem nenhum tipo de embalagem, processo predominante entre o produtor e o

intermediário; ou em pencas ou buquês acondicionados em embalagens de madeira do tipo “torito” apresentando dimensões de 590mm x 300mm x 240mm (comprimento x largura x altura) comportando peso líquido até 25 kg, ou acondicionadas em caixa de madeira apresentando dimensões de 745mm x 370mm x 220mm (comprimento x largura x altura) comportando até 26 kg para as bananas do grupo I, e, 760mm x 380mm x 170mm para o grupo II. Para caixa de papelão utilizada como embalagem de pencas ou buquês, as dimensões são 530mm x 385mm x 225mm (comprimento x largura x altura) com peso bruto de 20 kg. Características mencionadas por CHITARRA (1994). O autor ainda descreve que para o mercado externo, a banana é comercializada principalmente em cacho envolto em saco de perfurado polietileno, com 60 micra de espessura.

2.3- ESTUDO DO MATERIAL BIOLÓGICO

Tanto para o consumo direto ou processamento, o grau de maturação é influenciado por vários fatores. Muitas vezes a colheita é realizada precocemente, ou seja, antes do produto ter completado seu desenvolvimento, ficando o processo de amadurecimento totalmente prejudicado. Do mesmo modo, a colheita com o produto em estágio de maturação mais avançado trará conseqüências irreversíveis de perdas. Entre estes extremos, existem pontos em que o estágio de desenvolvimento permite colheitas que prolonguem a vida útil dos produtos sem ocorrência de desordens, pois, nesse caso, a menor suscetibilidade.

De acordo com CHITTARRA (1994), a qualidade pós-colheita das frutas relaciona-se com o conjunto de atributos ou propriedades que as tornam apreciadas como alimentos. Esses atributos, por sua vez, dependem do mercado de destino: armazenamento, consumo “in natura” ou para outros fins. De modo abrangente, a qualidade pode ser definida como o conjunto de inúmeras características que diferenciam componentes individuais de um mesmo produto e que tem significância na determinação do grau de aceitação do comprador. Os atributos de qualidade dos produtos dizem respeito à sua aparência, sabor e odor, textura, valor nutritivo e segurança, mostrado Tabela 7.

Tabela 7. Componentes de qualidade para frutos e hortaliças

PRINCIPAIS FATORES	COMPONENTES
Aparência	1- tamanho: dimensões, peso e volume 2- forma: diâmetro longitudinal x transversal (uniformidade) 3- cor: intensidade, uniformidade 4- brilho: lustre, aparência externa 5- defeitos: externos e internos morfológicos, físicos x mecânicos fisiológicos, patológicos, entomológicos
Textura	1- firmeza, dureza, maciez 2- fragilidade 3- succulência 4- granulidade 5- resistência, fibrosidade
“flavor” (sabor e aroma)	1- doçura 2- acidez 3- adstringência 4- amargor 5- aroma (voláteis) 6- sabores e odores estranhos
Valor nutritivo	1- carboidratos 2- proteínas 3- lipídeos 4- vitaminas 5- minerais

FONTE: CHITARRA (1994)

MOSHENIN (1970), relata que um sub produto da produção mecanizada e manuseio dos produtos agrícolas têm sido os danos durante a colheita e subsequente manuseio no campo e os processos de beneficiamento até a chegada ao consumidor, principalmente de produtos vegetais muito susceptíveis à danos mecânicos como as frutas e verduras. Em sementes e grãos, a trilha e o transporte, são os principais responsáveis pela queda na germinação, desenvolvimento das plântulas e na qualidade do produto final.

As propriedades mecânicas dos materiais biológicos tem sido alvo de investigações visando obter parâmetros para a melhoria da qualidade dos produtos agrícolas, principalmente as frutícolas e, em especial, a banana, para que tenha melhor aceitação pelos consumidores e a

exportação para países importadores desta fruta, onde o produto alcança melhor remuneração.

Pesquisas têm sido direcionadas ao estudo das solicitações mecânicas que os produtos vegetais sofrem durante a colheita, manuseio e processamento pós-colheita.

CHITARRA (1994), menciona que as frutas destinadas à comercialização “in natura” devem ser colhidas manualmente e colocadas em baldes (plásticos ou metálicos) quando frutas macias, ou ensacadas quando frutas com baixo potencial de compressão ou dano.

DAL FABBRO (1986) salienta que a falha mecânica interna ou externa nos frutos, talos, tubérculos e grãos é o maior problema para o desenvolvimento de novas máquinas para a colheita mecânica e para o manejo de grandes quantidades de produtos vegetais. Tal falha consiste na ruptura do tecido vegetal e conseqüente liberação do suco celular, que oxida e muitas vezes escurece o tecido.

Grande parte das perdas de banana é conseqüência de danos provocados pelo transporte da fruta ainda na lavoura, que vem sendo realizado de forma inadequada e cujas conseqüências surgirão após o processo de maturação na maioria das vezes apresentando manchas de coloração escuras, o que ocasiona perda na qualidade do produto final.

TAGLIARI (1994) relata que a eliminação dos danos e choques nos cachos de bananas na lavoura durante a colheita, transporte e, um tratamento posterior à colheita que melhore a qualidade e aparência da fruta, são os novos trunfos dos bananicultores catarinenses. Descreve também que apenas 40 a 50% das bananas colhidas chega às mãos dos consumidores devido às perdas ocasionadas por danos nas fases finais do ciclo de produção. Responsabiliza os precários cuidados no manejo na lavoura no momento da colheita, amontoa dos cachos, embalagem em caixa de madeira, transporte interno e externo, e, no manuseio da fruta nas feiras, supermercados e locais de comercialização.

A prática de envolver o cacho com saco plástico com fundo aberto, é um procedimento para preservar a qualidade, além de funcionar como uma mini estufa antecipando a colheita, também age como protetor de danos causados por aves, roedores, insetos, poeira e atrito entre dedos com as folhas ou qualquer outra parte da planta. Outras práticas que vem sendo trabalhadas com a finalidade de melhorar a qualidade do produto final são na fase da colheita e do transporte. Na colheita, a separação do cacho da planta é recomendado a ser realizado na altura da roseta foliar evitando o impacto dos frutos com partes da planta, e o transporte dentro da lavoura em saco de algodão, almofadas adaptadas ao

ombro do carregador ou animal; e, do bananal até a unidade de beneficiamento, os cachos podem ser pendurados em carretas adaptadas ou, transportados em cabos aéreos.

O tecido vegetal não pode ser considerado como um meio perfeitamente contínuo, homogêneo e isotrópico, devido aos espaços intercelulares compostos por gases e outros fluídos, mas pode exibir comportamentos mecânicos semelhante ou próximos ao metal, concreto e plástico. Esses comportamentos teóricos ou modelos de comportamentos são expressos pelas *Teorias da Elasticidade, Viscoelasticidade e Plasticidade*.

Essas teorias são estudadas a partir da avaliação do comportamento do material biológico através das relações tensão-deformação, ou da resposta do material a uma dada deformação, ou tensão. Usualmente os seguintes ensaios são utilizados:

2.3.1- Solicitação Axial de Tração - aplicando uma força de tração sobre um espécime biológico, ele se deforma até que haja *equilíbrio* entre a força externa aplicada e as forças internas resistentes. Nesta condição, diz-se que o material está em estado de *deformação* que é caracterizado por um *alongamento*. O quociente entre o alongamento apresentado pelo material e o seu comprimento inicial é denominado *Alongamento Relativo ou Deformação Específica de Tração*:

$$\varepsilon = \delta/l \quad \text{sendo, } \varepsilon - \text{deformação específica de tração, } \delta - \text{alongamento,} \\ l - \text{comprimento inicial}$$

Denomina-se *Tensão Normal de Tração* a resultante das forças internas por unidade de área. É dita normal por ser aplicada perpendicularmente à área considerada. A equação que expressa o valor da tensão normal de tração;

$$\sigma = P/A \quad \text{sendo, } \sigma - \text{tensão normal de tração, } P - \text{força, } A - \text{área da secção transversal}$$

Para cada tensão existe uma deformação específica correspondente, ou seja, a tensão é função da deformação específica: $\sigma = f(\varepsilon)$.

Através de uma máquina universal de ensaios, podemos determinar, experimentalmente, para um dado material, a relação tensão/deformação ($\sigma * \varepsilon$), denominado de *Diagrama de Ensaio de Tração*. No início da aplicação da deformação, a relação tensão/deformação é geralmente de proporcionalidade, isto é, o material vai sofrendo um acréscimo de tensão à medida que é solicitado com uma certa deformação. Esta proporcionalidade é quebrada ao atingir o ponto denominado de *Tensão Limite de Linearidade* (σ), até este limite o material volta a sua forma inicial uma vez aliviada a carga.

Esta propriedade, dos corpos em geral, de voltarem a sua forma inicial quando cessa a causa de deformação é denominada de *Elasticidade*.

O comportamento elástico do material é expresso pela *Teoria da Elasticidade ou Lei Generalizada de HOOKE*, que através de uma constante, denominada *Módulo de Young ou Módulo de Elasticidade*, nos permite relacionar duas grandezas:

$$\sigma = E\varepsilon \text{ sendo, } \sigma\text{- tensão normal de tração, } E\text{- módulo de elasticidade,} \\ \varepsilon\text{- deformação específica}$$

Denomina-se *Tensão Normal Admissível de Tração*, aquela aplicada como limite inferior ao limite de proporcionalidade, que devido a não homogeneidade do material, precisão da carga aplicada, etc..., pode o material atingir a deformação permanente:

$$\sigma = \sigma_e/K \text{ sendo, } \sigma \text{ - tensão admissível} \\ \sigma_e \text{ - tensão de escoamento} \\ K \text{ - coeficiente de segurança}$$

Contudo, se a sollicitação do material for tal que a tensão for maior que a tensão normal limite de proporcionalidade ($\sigma > \sigma_p$), uma vez descarregada, não volta mais a sua forma inicial; o material vai apresentar uma *Deformação Residual ou Permanente*.

Em um ensaio de tração verifica-se a existência de três fases distintas que depende da sollicitação: Fase Elástica ($0 \leq \sigma \leq \sigma_p$); Fase de Deformação Permanente ($\sigma < \sigma_p$); Ruptura ($\sigma = \sigma_r$).

2.3.2- Sollicitação Axial de Compressão - aplicando uma força axial de compressão no material, ele deforma até que haja o *equilíbrio* entre as força externa e as forças internas resistentes. Esta deformação é caracterizada por um encurtamento que é dado por HOOKE

$$\delta = P \cdot l / A \cdot E \text{ sendo, } \delta\text{- deformação, } P\text{- força axial de compressão, } l\text{- dimensão} \\ \text{inicial, } A\text{- área da secção transversal, } E\text{- módulo de} \\ \text{elasticidade}$$

A resultante das forças internas por unidade de área denomina-se *Tensão Normal de Compressão*:

$$\sigma = P/A \text{ sendo, } \sigma \text{ - tensão normal de compressão, } P \text{ - força axial de compressão} \\ A \text{ - área da secção transversal}$$

Analisando a lei de HOOKE, e utilizando a deformação específica, chega-se a seguinte equação válida para a fase elástica: $\sigma = E * \varepsilon$

Assim, como na tração, obtém-se experimentalmente, o gráfico de tensão normal de compressão X deformação específica de compressão ($\sigma \times \varepsilon$) denominada *Diagrama de Ensaio de Compressão*.

MOHSENIN (1970) menciona que através das propriedades elásticas dos materiais biológicos pode calcular as constantes: módulo de elasticidade ou módulo de Young (E), módulo de elasticidade ao cisalhamento ou módulo de rigidez (G), módulo volumétrico ou “bulk modulus” (K) e o coeficiente de Poisson (ν), sendo: $E = \sigma/\varepsilon$

O módulo de elasticidade ao cisalhamento, é dado por:

$$G = \tau/\gamma \text{ sendo, } G - \text{módulo de elasticidade ao cisalhamento, } \tau - \text{tensão de cisalhamento, } \gamma - \text{distorção específica de cisalhamento}$$

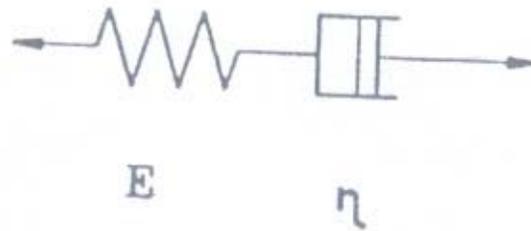
MOHSENIN (1970), menciona que ensaios triaxiais que apresentam as três tensões principais não nulas e iguais, o módulo volumétrico (“bulk modulus”) é expresso por

$$K = P/\varepsilon_v \text{ sendo, } K - \text{módulo volumétrico, } P - \text{pressão hidrostática, } \varepsilon_v - \text{deformação volumétrica, } \Delta V/V \text{ (V - volume inicial, } \Delta V - \text{variação do volume na presença da pressão hidrostática)}$$

MOHSENIN (1970), menciona a relação entre as constantes elásticas e o coeficiente de Poisson através de: $E = 3K(1-2\nu)$ e $E = 2G(1+\nu)$ sendo, E - módulo elástico, K – módulo volumétrico (“bulk modulus”), ν - coeficiente de Poisson, G - módulo de elasticidade ao cisalhamento

Além das propriedades elásticas já mencionadas, os materiais biológicos apresentam também comportamento *viscoelástico*, o que combina o comportamento do sólido com o comportamento do fluido, sendo que as características elásticas são afetadas pelo tempo de aplicação da carga ou da deformação.

Para descrever o comportamento viscoelástico linear de materiais biológicos, são utilizados, comumente, modelos viscoelásticos compostos por molas e amortecedores, que para MASE (1970), as tensões geradas na mola e no amortecedor podem ser calculadas por:



Modelo viscoelástico de Maxwell

MARTINS (1993), cita testes de compressão em maçãs descritos por CLEVINGER, HAMANN (1968) a qual apresentou dependência da razão da carga; e que CHAPPELL, HAMANN (1968) propuseram uma metodologia para a determinação da função viscoelástica de Poisson e para o módulo viscoelástico de Young. Descreve que para pequenas deformações, a viscoelasticidade é considerada linear, e depende do tempo. Para deformações maiores, a viscoelasticidade é função do tempo e da tensão e, neste caso, surge o conceito da *Viscoplasticidade*.

3- MATERIAL E MÉTODOS

3.1- DANOS MECÂNICOS DEVIDO AO TRANSPORTE MANUAL

Para avaliar quantitativamente os danos provocadas pelo transporte, 6 cachos, no estágio de colheita, foram cortados das bananeiras e transportados no bananal, por uma distância de 30 m. Ao carregador não foi informado a finalidade do experimento. Foram colhidos, no mesmo dia e local, 6 outros cachos testemunhas. Os cachos testemunhas foram submetidos aos mesmos tratamentos que os demais, diferenciando-se apenas pela ausência do transporte. Para isso, foram cuidadosamente transportados para o local do amadurecimento evitando-se qualquer contato com os frutos. Após o caminhamento, todos cachos utilizados foram depositados cuidadosamente em superfície limpa, cobertos com uma lona plástica e submetidos a uma atmosfera com a presença de acetileno, para acelerar o amadurecimento. Decorridos quatro dias, a lona foi removida e foram avaliados visualmente os danos através da presença de manchas escuras na casca, provocadas pela compressão nos frutos, pela abrasão entre os frutos e pelo escurecimento do pedúnculo.

As manchas na casca e no pedúnculo foram classificadas em pequenas, médias e grandes e atribuídas as notas 1, 2 e 3, respectivamente. A abrasão foi identificada como presente ou ausente no fruto através das notas 0 e 1, respectivamente. A somatória das notas, para cada cacho, em cada categoria foi tomada como o índice de injúria, valor para fins comparativos realizados através do teste de Tuckey ($p < 0,05$).

3.2- DETERMINAÇÃO DA ÁREA DE CONTATO ENTRE FRUTOS E OMBRO DURANTE O TRANSPORTE MANUAL

Para determinar a área de contato entre os frutos e o ombro do carregador, durante o transporte manual, foi utilizado um único cacho, preso pelos extremos do ráquis através de corda e levantado através de roldana. O cacho foi mantido inclinado formando um ângulo de $12,7^\circ$ com a horizontal. Mantendo essa inclinação o cacho foi baixado cuidadosamente sobre os ombros do carregador, em posição de transporte, permanecendo alguns segundos para o registro das impressões, sendo logo em seguida levantado, aliviando o carregador. Um filme plástico, previamente impregnado com tinta de carimbo foi colocado sob os ombros do carregador antes do abaixamento do cacho. Foi contado o número de frutos atingidos.

Através de papel transparente, as áreas das impressões formadas na superfície dos frutos foram registradas. O contorno registrado foi transcrito em forma de desenho através do software AUTOCAD para cálculo da área. Esse procedimento foi repetido 7 vezes fazendo-se uma rotação no cacho para que novos frutos fossem marcados.

Após essas repetições, houve um caminhamento de 80 metros, com a finalidade de se obter as áreas de contato entre os frutos e o ombro do carregador. Parte do ombro do carregador foi pintado com tinta lavável e o caminhamento ocorreu em terreno plano e horizontal.

3.3- VARIAÇÃO NA ACELERAÇÃO DURANTE O TRANSPORTE MANUAL EM VÁRIAS SUPERFÍCIES E TOPOGRAFIAS

O transporte manual do cacho de banana, logo após a colheita, faz com que os frutos sofram solicitações mecânicas (fruto/ombro e fruto/fruto) decorrentes do peso próprio e das acelerações do cacho durante o transporte resultando, muitas vezes em danos aos tecidos da casca, polpa e pedúnculo.

Para determinar a aceleração da massa transportada manualmente por uma mesma pessoa caminhando em superfícies de concreto e de grama em topografia plana e irregular, utilizou-se de dispositivo para simular o transporte no ombro (Figura 5), composto de ombreira, célula de carga (Interface ULC 500, capacidade de 5000 N), peso de 200 N, projetado especificadamente para essa finalidade. A célula carga foi conectada a um condicionador de sinais através de cabo com extensão de 30 metros. Para aquisição dos dados usou-se microcomputador tipo Notebook 486 DX4-100MHz, Docking Station com placa de conversão analógica digital Advantech PCL-818.

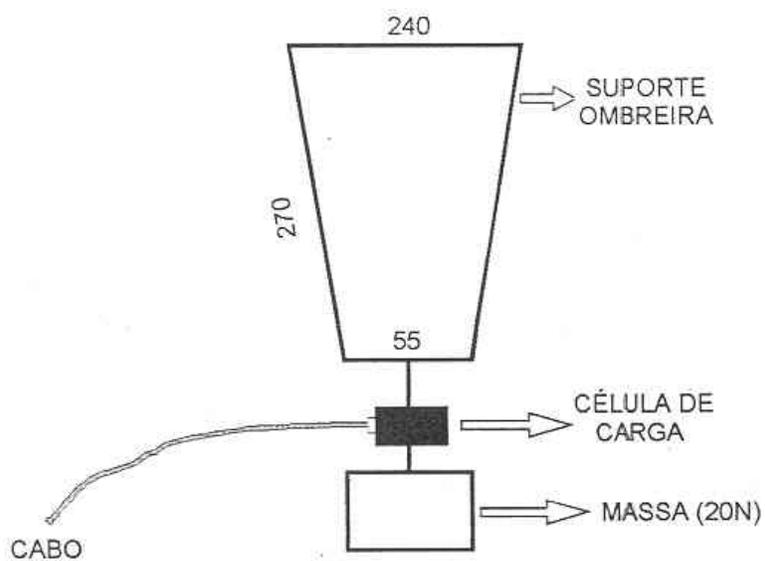


Figura 5. Diagrama esquemático do dispositivo utilizado para medir as acelerações durante o caminhamento. Cotas em mm.

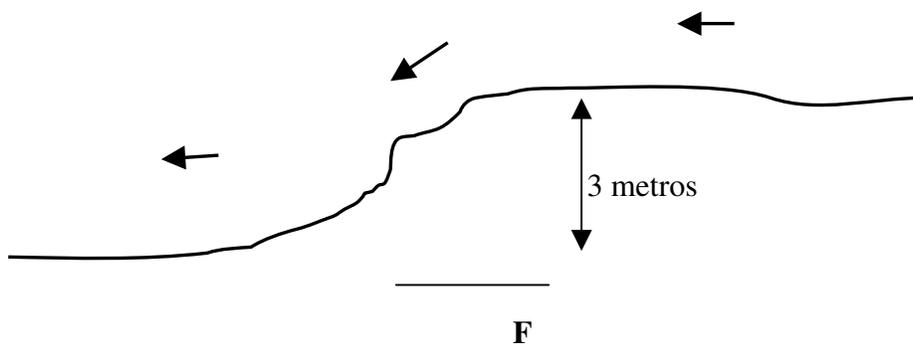


Figura 6. Representação esquemática da topografia onde foi realizada a aquisição dos dados

O dispositivo para registrar as acelerações durante o transporte foi colocado no ombro da pessoa por meio da ombreira, como mostra a Figura 7.

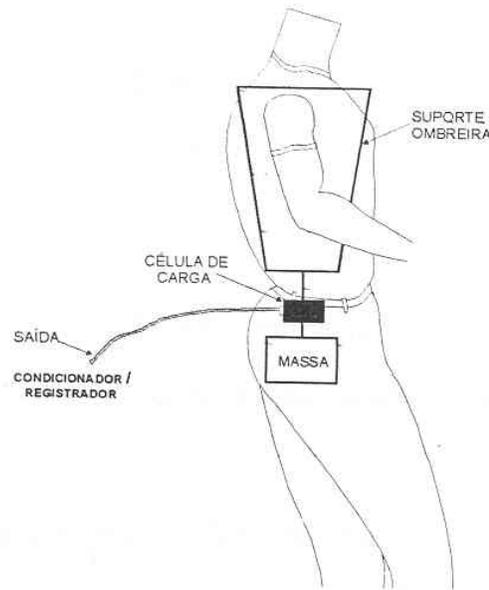


Figura 7. Dispositivo de medição das acelerações durante o caminhamento.

O sinal da célula foi registrado através do sistema de aquisição de dados a uma frequência de 20 Hz. A aquisição de dados ocorreu durante o caminhamento por uma distância de 20 m permitindo-se alguns passos antes dos registros para que os movimentos da pessoa entrassem em regime. Para a superfície irregular de grama, percorreram-se 20 metros, inicialmente caminhando no plano, descendo e subindo uma rampa de 30% de declividade.

3.4.- ENSAIOS DE COMPRESSÃO

Os ensaios mecânicos realizados foram ensaios de penetração, compressão até a ruptura e compressão cíclica entre pratos planos e paralelos.

3.4.1 Ensaio de Penetração.

Frutos verdes e inteiros, extraídos da terceira e quarta pencas dos cachos, foram submetidos à compressão por meio de ponteira cilíndrica reta, com diâmetro de 19 mm, correspondendo a uma secção transversal de 283,5 mm². Cada espécime foi colocado na

posição de repouso sobre uma placa plana, rígida, de aço inoxidável, e submetido a compressão pela ponteira ao longo do seu maior diâmetro, conforme ilustra a Figura 8. Aplicaram-se níveis de carga de 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 240, 260, 280 N e carga até a ruptura, em 20 frutos para cada nível, utilizando-se um total de 220 frutos. Em cada ensaio registrou-se a variação da força com a deformação aplicada. Utilizou-se a máquina universal de ensaios (“Ottawa Texture Measuring System”, Resarch Model, Cannes Machinery Ltda), a uma taxa de compressão constante de 0,35 mm/s, acoplada uma célula de carga extensiométrica, com capacidade nominal de 5000 N (Interface, modelo ULC 50), e condicionador de sinais (Daytronic, modelo 9010), mostrados na Figura 9. Os valores de força e deformação foram registrados em computador. Os ensaios foram realizados aleatoriamente, num mesmo dia, e os frutos permaneceram sobre a bancada do laboratório, em condições ambientes, durante 15 dias após os quais foram avaliados visualmente quanto ao efeito das compressões.



Figura 8. Ensaio de compressão com ponteira.

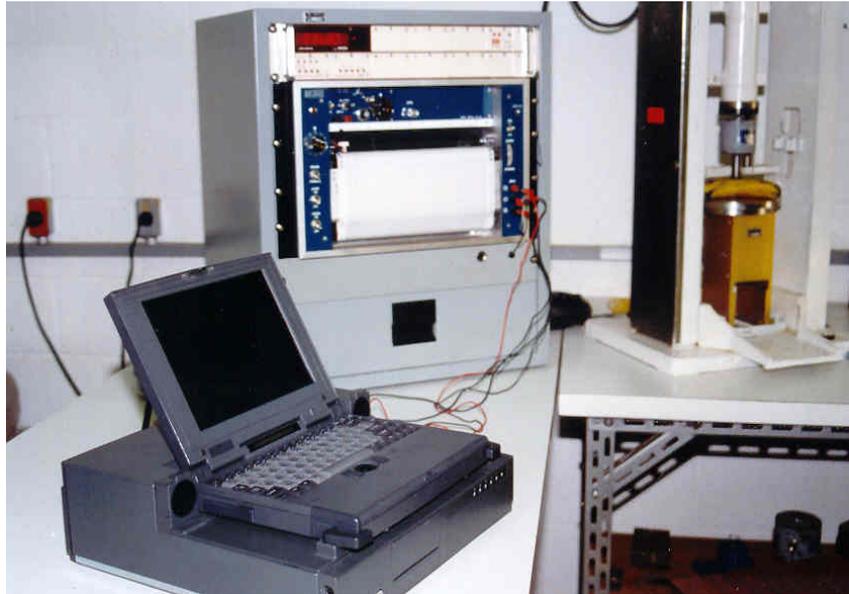


Figura 9. Vista geral dos equipamentos utilizados nos ensaios de compressão

3.4.2- Ensaios de Compressão do Fruto Inteiro Entre Pratos Planos e Paralelos.

Cachos de banana foram colhidos no mesmo dia do ensaio e transportados até o laboratório. Os frutos se apresentavam com coloração verde uniforme e perda parcial da angulosidade superficial, indicando início do estágio fisiológico maduro. Foram retirados 10 frutos das pencas localizadas nas posições superior, média e inferior do cacho. Os frutos da posição superior são fisiologicamente mais velhos, tendo-se frutos mais jovens à medida que se avança para a extremidade inferior do cacho.

Para os ensaios de compressão os frutos selecionados foram colocados, em posição de repouso, entre dois pratos planos paralelos, comprimidos a uma taxa de deformação de 0.83 mm/s até observar pico acentuado de força (força máxima). Utilizou-se uma prensa universal (Instron), pertencente ao Departamento de Tecnologia de Alimentos-CTA, Faculdade de Engenharia de Alimentos-FEA, da Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP. O diagrama força-deformação foi registrado em papel, de onde se extraiu os pontos de escoamento biológico e de força máxima, com as deformações correspondentes.

3.4.3- Ensaios Cíclicos de Compressão.

Foi utilizado um cacho de banana 'Nanicão' contendo 10 pencas, colhido no mesmo dia dos ensaios separando os frutos cuidadosamente da almofada floral através de corte com lâmina afiada, lavados em solução de detergente comum, numerados, pesado e medido o diâmetro mediano.

Neste ensaio de compressão o fruto foi colocado, na sua posição de repouso, entre pratos planos e paralelos, aplicado uma pré-carga gradual de 10 N e submetido a 60 ciclos de compressão, a uma frequência de 0,5 Hz, com amplitudes de 1, 0,5 e 0,125 mm. Foram ensaiados 10 frutos, para cada um dos valores de amplitude, escolhidos aleatoriamente entre as pencas. A pré-carga foi estabelecida para que os pratos não perdessem contato com o fruto durante os ensaios. Foram registradas, temporalmente, as variações de força obtendo-se a força máxima, força mínima e os valores residuais da pré-carga no trigésimo e sexagésimo ciclos.

Antes dos ensaios cíclicos, para avaliar a resistência mecânica, 8 dos frutos do mesmo cacho foram comprimidos até a ruptura, entre pratos planos e paralelos, na posição de repouso, a uma taxa de deformação de 0,5 mm/s.

Utilizou-se uma Prensa Universal de Ensaios (MTS - Material Testing System), composta de dispositivo servo hidráulico com controle de amplitude e frequência; registrador de papel (Plotter MTS-431 Recorder) e célula de carga (Protector, modelo 66118B-13) com capacidade máxima de 1500 N.

4- RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DANOS MECÂNICOS DURANTE O TRANSPORTE MANUAL

A área escolhida para o experimento é representativa da topografia irregular da região. Os cachos escolhidos apresentaram em média 70 frutos que, apesar de não constituírem cachos de grande porte, são representativos de lavouras alternativas, caracteristicamente destinadas ao aproveitamento de áreas inviáveis para outras culturas. Os cachos escolhidos, após cuidadosa inspeção visual, apresentavam-se íntegros e isentos de danos ou manchas.

Os resultados dos ensaios para avaliação de injúrias mecânicas devido ao caminhamento evidenciam os danos causados pelo transporte manual. Os índices de mancha e abrasão assim como o número de pedúnculos danificados são apresentados nas Tabelas 8 e 9 para os tratamentos com caminhamento e testemunha, respectivamente. As médias obtidas para o índice de mancha de 15,3 (Tabela 8) e 9,3 (Tabela 9), para os cachos transportados manualmente e para o tratamento testemunha, respectivamente, são significativamente distintas (Tukey, $p < 0,05\%$). Esse resultado indica que o caminhamento com o cacho nos ombros, nas condições do experimento, provocou 39,2% mais danos por manchas que nos cachos testemunhas. Da mesma forma, os índices médios de 4,2 e 1,9 para os danos por abrasão são significativamente diferentes (Tukey, $p < 0,05\%$), representando 54,7% a mais de ocorrência de abrasões. Como as manchas e abrasões só são detectadas após o amadurecimento dos frutos, as perdas com transporte e possível rejeição por parte do consumidor pode ser significativa. Considere-se aqui que somente o efeito do caminhamento, foi quantificado. As demais operações seqüenciais como lavagem, seleção, embalagem e transporte, antes de chegar ao consumidor, certamente representam grandes potenciais para aumento dos danos. Dessa forma é importante que cuidados no manuseio sejam tomados já na colheita.

O caminhamento provocou danos em 10 pedúnculos representando, em média, 1,7 danos por cacho ou 2,4% dos frutos do cacho, considerando-se 70 frutos por cacho. O tratamento testemunha apresentou danos somente em 5 pedúnculos representando, em média, 1,2% dos frutos do cacho. Os frutos com esse tipo de dano são necessariamente descartados, gerando perdas, pois a aparência é seriamente comprometida devido ao escurecimento dos tecidos.

Tabela 8. Índice de danos para mancha, abrasão e número de pedúnculos danificados devido ao transporte manual avaliado quatro dias após a colheita.

cacho	mancha	abrasão	pedúnculo
1	15	5	2
2	18	8	1
3	13	3	3
4	14	6	1
5	17	2	2
6	15	1	1
total	92,0	25,0	10
média	15,3	4,2	1,7

Tabela 9. Índice de danos para mancha e abrasão e número de pedúnculos danificados devido ao transporte manual avaliado quatro dias após a colheita, nos cachos testemunhas.

cacho	mancha	abrasão	pedúnculo
1	9	2	0
2	12	5	1
3	7	0	0
4	8	3	1
5	11	0	2
6	9	1	1
total	56	11,0	5
média	9,3	1,9	0,8

4.2. DETERMINAÇÃO DA ÁREA DE CONTATO DURANTE O TRANSPORTE MANUAL

O cacho escolhido, variedade Prata, peso de 130 N, comprimento de 620mm, 9 pencas, frutos pequenos e ráquis cortado rente à inserção da última penca.

Os resultados da determinação da área de contato entre o ombro do carregador e os frutos são mostradas na Tabela 10. O número médio de frutos envolvidos foi de 5,4 e a área média obtida foi de 14228,5 mm², com desvio padrão e coeficiente de variação de 1108,6 e 7,8%, respectivamente. A maior área de contato foi registrada na quinta penca, seguida da quarta e terceira, evidenciando a tendência dos frutos de uma só penca suportarem o peso de todo o cacho.

Tabela 10. Área de contato entre o ombro do carregador e os frutos para um ângulo de inclinação de 12,7 graus.

Repetição	Número de frutos em contato	Área de contato (mm ²)
1	5	13000
2	5	14200
3	6	13400
4	5	16200
5	7	15100
6	5	14200
7	5	13500
MÉDIA	5,4	14228,5
DP	0,7	1108,6
CV (%)	14,5	7,8

Como observado anteriormente, a interação entre o ombro do carregador e os frutos resulta em manchas e abrasões. A área média obtida neste experimento poderá ser utilizada como referência em projetos futuros de dispositivos auxiliares de transporte manual de cachos onde um aumento na área de contato deverá, potencialmente, resultar em tensões menores nos frutos e reduzir as manchas, abrasões e injúrias aos pedúnculos.

O valor da área de contato medida, após o caminhamento por 80 m em terreno plano e horizontal foi de 1580 mm². Nesse percurso não foi permitido ao carregador movimentar o cacho sobre o ombro. O valor obtido para a área de contato é muito próximo daquele valor médio medido estaticamente. Na prática, o carregador tende a deslocar e girar o cacho sobre o ombro à medida que o desconforto da pressão localizada dos frutos o incomoda. Isso, evidentemente, tende a aumentar o número de frutos envolvidos na interação fruto-ombro e, conseqüentemente, o número potencial de danos.

4.3- VARIAÇÃO NA ACELERAÇÃO DURANTE O CAMINHAMENTO EM VÁRIAS SUPERFÍCIES E TOPOGRAFIAS

4.3.1- Superfície Plana de Concreto

Uma curva característica de variação da força durante o caminhamento (Figura 10) revela o comportamento oscilatório e sugere um certo período devido ao andar característico

da pessoa. Os picos se alternam com os vales apresentando valor médio de 210,3 N entre mínimo e máximo de 136,7 e 262,9 N, respectivamente. Forças entre 184 a 225 N se encontram na faixa de maior frequência de ocorrência (Figura 11). As variações da força durante o caminhar foram transformadas em níveis de aceleração, como frações ou múltiplos do peso inicial, e apresentadas na Figura 12. Observa-se a ocorrência significativa de acelerações acima e abaixo de 1g ($g = 9,87\text{m/s}^2$) solicitando os tecidos de maneira cíclica. As acelerações variaram 0,15 a 1,25 g, sendo que as ocorrências de maior frequência encontram-se entre 1 a 1,25g.

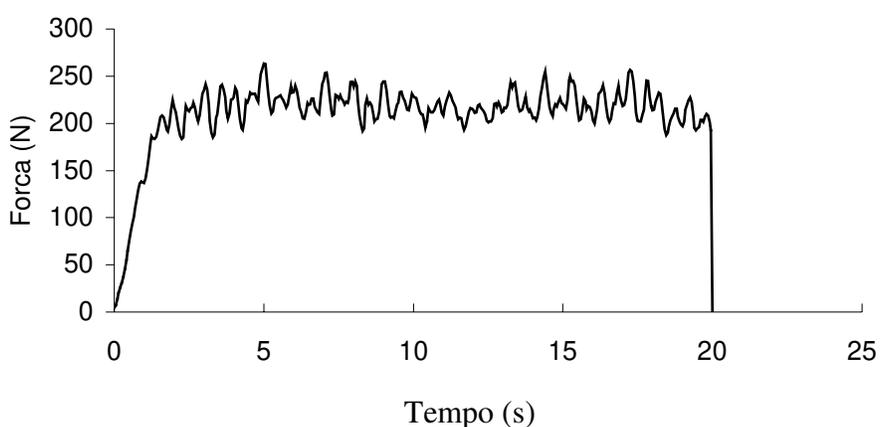


Figura 10. Variação da força durante o caminhar sob superfície plana de concreto.

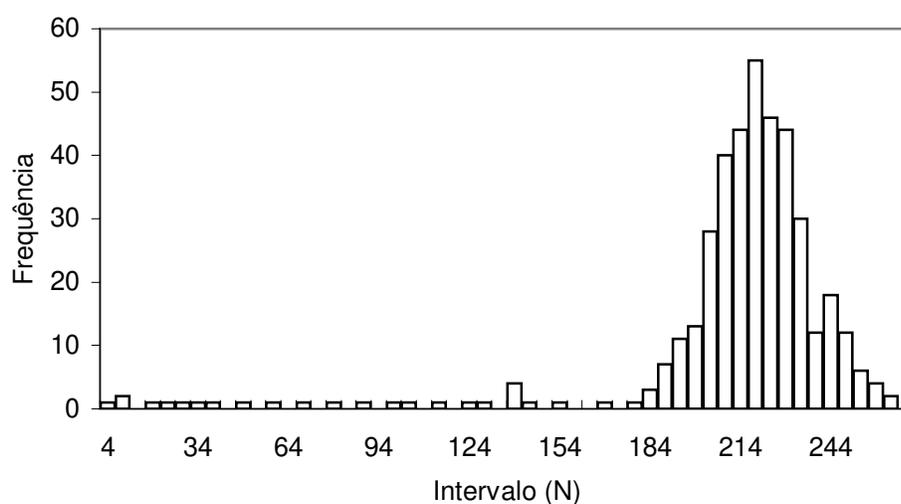


Figura 11. Frequência de ocorrência de forças aplicadas durante o caminhar em superfície plana de concreto.

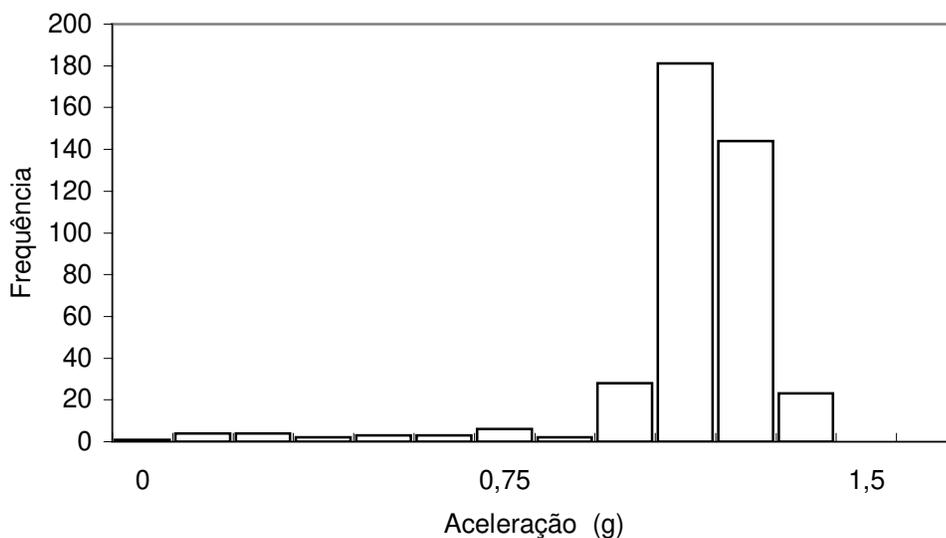


Figura 12. Frequência de acelerações aplicadas durante o caminhamento em superfície plana de concreto.

4.3.2- Superfície Irregular - Grama

A variação dos valores da força durante o caminhamento sob superfície irregular com grama é mostrada na Figura 13, com média de 243,8 N e mínima e máxima de 128,3 a 261,1 N, respectivamente. O intervalo de força de 190 a 340 N foi o que apresentou maior frequência (Figura 14), e a aceleração variou de 0,15 a 1,35g (Figura 5.6) sendo que as acelerações do intervalo de 1 a 1,25g tiveram maior frequência.

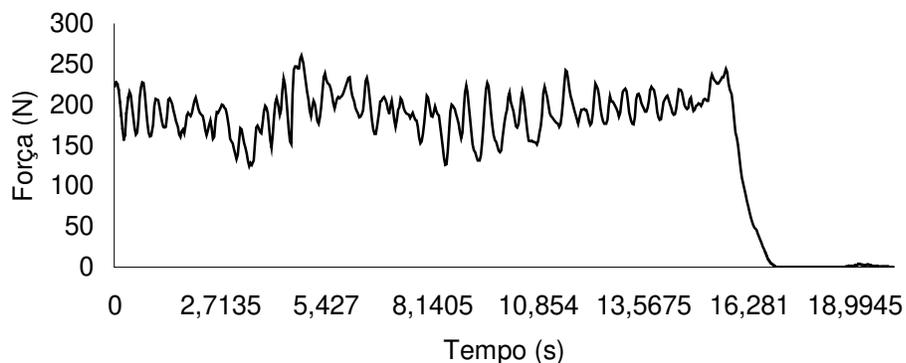


Figura 13. Variação da força durante o caminhamento sob superfície irregular com grama.

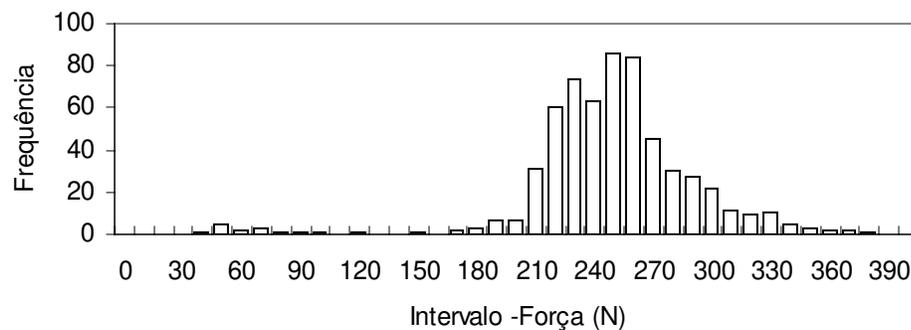


Figura 14. Frequência de ocorrência de forças durante o caminhamento sob superfície irregular com grama.

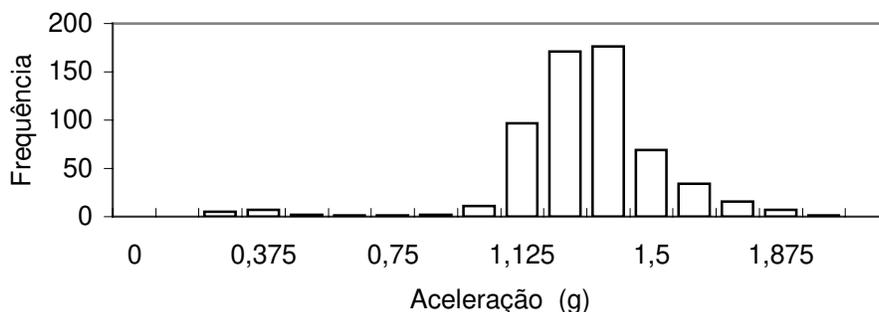


Figura 15. Frequência de acelerações aplicadas durante o caminhamento em superfície irregular de grama.

Observa-se que os valores característicos da força para o caminhamento em percurso com topografia plana em concreto e topografia acidentada sobre grama apresentaram-se semelhantes, mesmo diante do grande aclave/declive (30% de inclinação e 3 metros de comprimento), indicando o acentuado amortecimento provocado pelo revestimento com grama. Dessa forma, recomenda-se que os carregadores sejam protegidos e que condições de amortecimento sejam criadas para aumentar a capacidade de amortecimento durante o caminhamento reduzindo-se as acelerações e conseqüente solicitação mecânica dos frutos.

4.4. ENSAIOS DE COMPRESSÃO

4.4.1. Ensaios de Penetração

A observação visual dos frutos que sofreram compressão com ponteira, durante o armazenamento em condições ambientes, revelou que manchas escuras começaram a aparecer

após o segundo dia. De uma maneira geral, para as solicitações com cargas mais elevadas as manchas apresentaram tendência de serem maiores. No entanto, isso nem sempre ocorreu. Em alguns casos, manchas relativamente grandes corresponderam a pequenas cargas.

Os ensaios destrutivos de compressão com ponteira nos quais os níveis máximos de força foram de 100, 120, 140, 160 e 180 N, não apresentaram danos que pudessem ser diferenciados visualmente (Figura 16), decorridos os 15 dias de armazenamento, tanto externamente como na região do endocarpo (Figura 17).

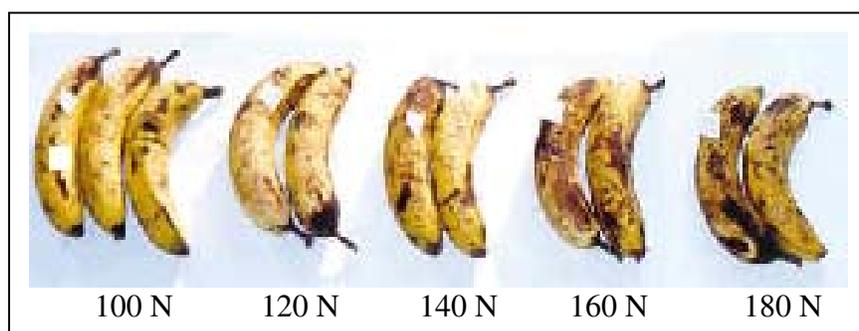


Figura 16. Aparência de bananas após ensaios destrutivos de compressão aplicadas vários níveis de carga



Figura 17. Efeito na casca do fruto ao ser aplicada força de 180 N

Na maioria dos frutos as marcas de compressão foram imperceptíveis, no entanto, em alguns deles apareceram grandes manchas. O tamanho das manchas não refletiu o aumento da carga aplicada sugerindo que outros fatores, provavelmente ligados ao ataque de microorganismos ou as próprias alterações fisiológicas do fruto, tenham atuado.

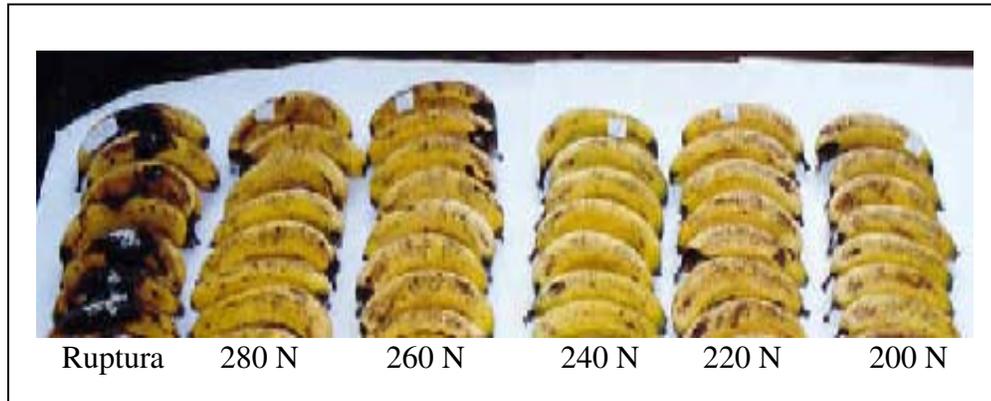


Figura 18. Aparência de bananas submetidas a cargas de ruptura, 280, 260, 240 220 e 200 N

Na Figura 18 são mostrados os frutos submetidos á cargas de ruptura, 280, 260, 240, 220 e de 200 N. Da mesma forma que o grupo solicitado até 180 N, os frutos não apresentaram diferenças significativas na aparência sendo impossível distinguir visualmente o efeito dos diversos níveis de carga aplicado (Figura 19), com exceção das submetidas a cargas de ruptura.

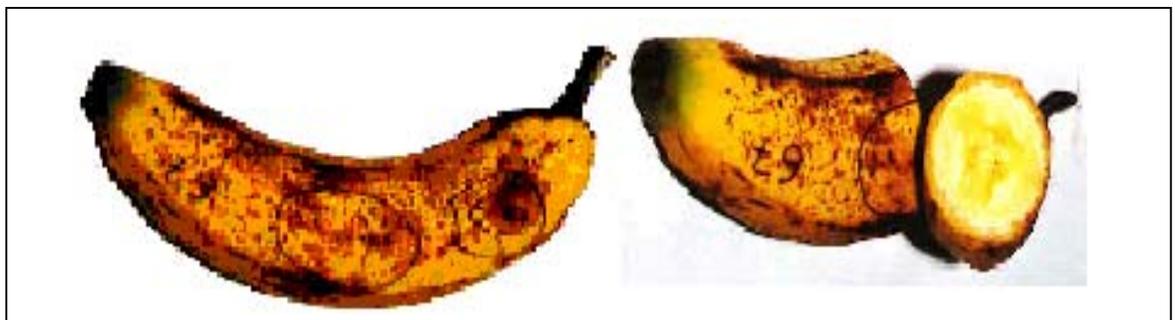


Figura 19. Aparência de bananas submetidas a cargas de até 180 N

Uma análise de corte transversal mostra que casca e polpa não foram danificadas (Figura 20) mesmo para cargas de 280 N.



Figura 20. Aparência de bananas submetidas a cargas de até 280 N

Estas observações indicam que o padrão visual não é bom parâmetro para se avaliar danos de compressão nos frutos.

O efeito das cargas de ruptura, variando entre 276 a 372 N, apesar de causarem danos consideráveis aos tecidos, também apresentou uniformidade de comportamento. Alguns frutos apresentaram grandes manchas, ocupando quase toda sua área superficial, enquanto outros apresentaram manchas discretas (Figura 21).



Figura 21. Aparência de bananas submetidas a ensaios de compressão com ponteira ,até a ruptura, na porção mediana

A ocorrência de ruptura, nem sempre é acompanhada por manchas escuras extensas, o dano localizado pode não se propagar durante o amadurecimento (Figura 22), mas pode afetar profundamente casca e polpa.

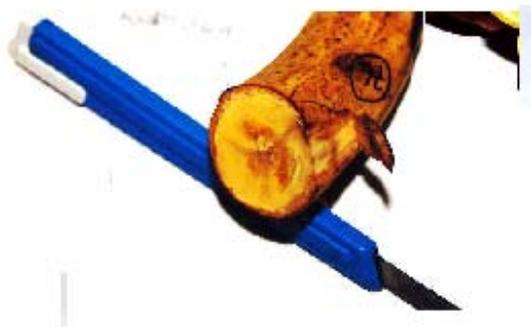


Figura 22. Característica da aplicação de uma força até ruptura sem acompanhamento de escurecimento externo do tecido

4.4.2. Ensaio de Compressão do Fruto Inteiro Entre Pratos Planos e Paralelos

Nos diagramas força-deformação, resultantes dos ensaios de compressão entre pratos planos e paralelos, observou-se, na maioria dos casos, um ponto de escoamento biológico, representando uma acomodação ou colapso parcial do material sob tensão, seguido de aumento de carga a uma mesma taxa de crescimento, atingindo a força máxima com decréscimo abrupto do valor da força.

Os valores de força correspondente ao escoamento biológico e carga máxima, com respectivas deformações, são apresentados na Tabela 11, para frutos localizados na parte superior (frutos numerados de 1 a 10), média (frutos de 11 a 20) e inferior (frutos de 21 a 30) do cacho.

Tabela 11. Valores de escoamento biológico, força de ruptura e deformação correspondente para frutos da banana comprimidos entre pratos planos e paralelos.

Fruto	Escoamento (N)	Deformação (mm)	Fmáxima (N)	Deformação (mm)
Penca Superior				
2	1220	5	1950	7,3
3	1320	5,5	1950	8,5
4	1130	5	1880	7,7
5	1050	4	1920	7,5
6	1350	5,5	1760	7
8	1180	4,5	1910	11
10	1270	6	1630	7
Média	1217,14	5,07	1857,14	8
Dp	106,41	0,67	119,40	1,31
Cv (%)	8,74	13,26	6,42	16,42
Penca Média				
11	1290	4,5	1880	7,5
12	1120	4	1260	6,5
14	1520	6,5	1930	10
15	1270	4,5	1470	7
16	1270	5	1770	8
17	1320	5,5	1700	10,5
20	1350	6,5	1940	14,5
Média	1305,71	5,21	1707,14	9,14
Dp	119,28	0,99	256,23	2,79
Cv (%)	9,13	19,06	15,00	30,56
Penca Inferior				
21	1020	6,5	1480	14,5
22	1100	6,5	1550	10,5
23	1200	6,5	1630	9,5
25	1060	6	1490	8,5
26	1280	7,5	1660	13
27	1510	6,5	1840	10,5
29	1020	6,5	1230	11
Média	1170	6,57	1554,28	11,07
Dp	178,23	0,44	188,57	2,04
Cv (%)	15,23	6,84	12,13	18,51

As médias para o valor da força no escoamento biológico e das deformações médias correspondentes foram de 1217,14N e 5,07mm, 1305,71N e 5,21mm, e 1170 N e 6,57 mm para frutos da penca superior, média e inferior, respectivamente. Os valores médios das forças de escoamento biológico não se diferenciaram estatisticamente pela análise de variância. Porém, as deformações médias entre as pencas superiores e a inferior foram significativamente diferentes (Tukey, $p < 0,05$). As maiores deformações ocorreram nos frutos mais jovens indicando tecidos menos consolidados e com menor teor de fibras, enquanto que as menores ocorreram nos frutos mais velhos indicando maior rigidez e maior teor de fibras (Tabela 12)

Tabela 12. Comparação das médias para deformação no escoamento biológico

Posição da Penca	Repetições	Médias (mm)
Inferior	7	6,5714 a*
Média	7	5,2143 ab
Superior	7	5,0714 b

* Letras diferentes, correspondem à médias significativamente diferentes (Tukey, $p < 0,05$)

De forma semelhante, foram comparados os valores médios da força máxima e suas respectivas deformações, mostradas nas Tabelas 13 e 14, que evidenciam as diferenças entre as pencas superiores e inferior. Observe-se que para os maiores valores médios de força máxima, correspondem os menores valores de deformação, sugerindo maior rigidez dos frutos da penca superior.

Tabela 13. Comparação das médias para força máxima

Penca	Repetições	Médias (N)
Superior	7	1857,14 a
Média	7	1707,14 ab
Inferior	7	1554,28 b

Tabela 14. Comparação das médias da deformação na força máxima

Penca	Repetições	Médias (mm)
Inferior	7	8,00 a
Média	7	9,14 ab
Superior	7	11,07 b

Esses resultados sugerem que os parâmetros mecânicos para proteção dos frutos na colheita, beneficiamento e transporte devem ser baseados nos frutos mais jovens.

4.4.3. Ensaio Cíclicos

Os ensaios de compressão para avaliar a resistência dos frutos resultaram no valor médio de força máxima de 2625N, desvio padrão de 327,32N e coeficiente de variação de 12,46%. Os frutos apresentaram peso médio de 168,7g, diâmetro médio de 38,5mm com coeficientes de variação de 7,96% e 5,89%, respectivamente. Em vista desses valores torna-se evidente que o valor da pré-carga escolhido, 10N, se situa muito abaixo dos valores de força de ruptura. Assim os efeitos dos ciclos de compressão devem manifestar a fadiga dos tecidos, isto é, o efeito de inúmeras aplicações de pequenas cargas.

Dois diagramas característicos (força x tempo), são mostrados na Figura 23. De forma geral, ocorrem grandes acomodações dos tecidos nos primeiros ciclos. Para a amplitude de deformação de 1 mm, decorrido um certo número de ciclos, ocorreu mudança acentuada no comportamento, com significativa diminuição do nível de força (Figura 90a). Nos outros níveis de amplitude de deformação 0,5 e 0,125 mm (Figura 24), a mudança foi incremental acontecendo de forma discreta e progressiva, a cada ciclo.

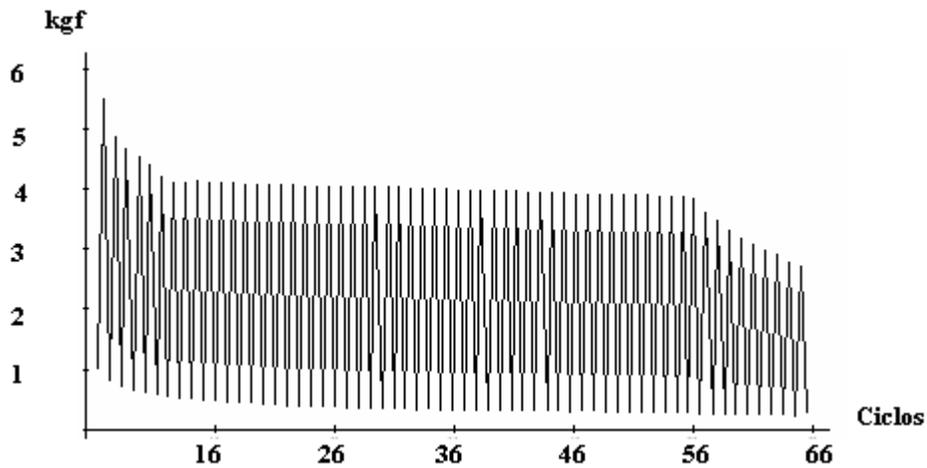


Figura 23. Variação de força para ciclos de 1mm de amplitude

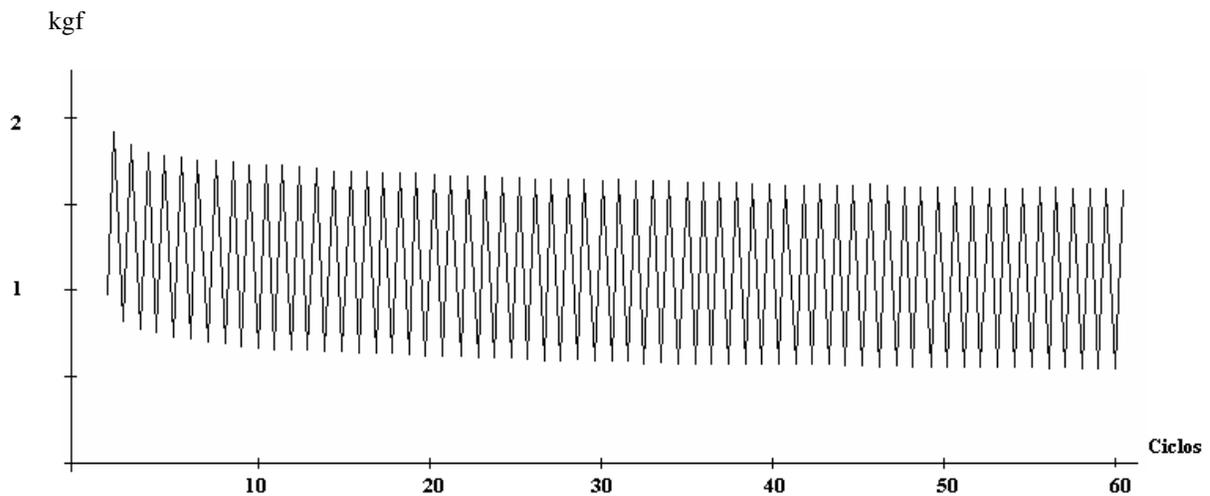


Figura 24. Variação de força para ciclos de 0,5mm de amplitude

Na Tabela 15 são apresentados os valores característicos de cada fruto ensaiado tais como o peso e diâmetro (\varnothing) na porção mediana. São também apresentados os valores da deformação específica máxima, força máxima (F_{max}) e mínima (F_{min}) e valores da pré-carga no trigésimo e sexagésimo ciclos, para deformações de 1, 0,5 e 0,125 mm.

Tabela 15. Características do fruto e resultado da compressão cíclica entre pratos planos e paralelos: peso, diâmetro (\emptyset), deformação específica (ε), força máxima (F_{\max}), força mínima (F_{\min}), valores de pré-carga no 30^o e 60^o ciclos

DEFORMAÇÃO (δ) – 1mm							
FRUTO	Peso (g)	\emptyset (mm)	ε (%)	F_{\max} (N)	F_{\min} (N)	Pré Carga (N)	
						30 ^o ciclo	60 ^o ciclo
4	170	38	2,63	52,5	19	2,55	2,55
5	153	37	2,7	50	18	2,65	2,55
19	175	38	2,63	58	52,6	5,5	5
21	181	38	2,63	15	10	2,55	2,4
20	186	40	2,5	35,4	32,4	2,6	2,4
50	161	37	2,7	39,5	27,5	2,6	2,5
49	160	37	2,7	55	26,5	2,55	2,5
51	164	38	2,63	25	24	7,5	6
MÉDIA	168	37	2,64	41,3	26,25	3,9875	3,2375
DP	11	0,9	0,0663	15,414	12,669	2,0209	1,423
CV	6,7	2,6	2,5126	37,322	48,263	50,681	43,953

DEFORMAÇÃO (δ) – 0,5mm							
FRUTO	Peso (g)	\emptyset (mm)	ε (%)	F_{\max} (N)	F_{\min} (N)	Pré Carga (N)	
						30 ^o ciclo	60 ^o ciclo
7	167	40	1,25	25,5	24,25	9	8,5
9	168	39	1,28	28,5	26,25	9,5	8
37	151	39	1,28	22,25	21,25	7,5	7
24	170	37	1,35	12,2	11,75	5	5
23	174	38	1,31	20,5	20,25	5,75	5,25
39	146	37	1,35	20,25	16,75	6,75	6,75
54	174	39	1,28	16,75	15,25	9,5	8,25
52	159	39	1,28	19,25	15,75	6	5
MÉDIA	163	38	1	20,65	18,938	7,375	6,7188
DP	10	1	0,03	5,0208	4,9131	1,7829	1,4786
CV	6,4	2,7	2,7	24,314	25,944	24,174	22,008

Continuação

DEFORMAÇÃO (δ) – 0,125mm							
FRUTO	Peso (g)	\varnothing (mm)	ε (%)	F_{max} (N)	F_{min} (N)	Pré Carga (N) 30 ^º ciclo	Pré Carga (N) 60 ^º ciclo
15							
14	165	37	0,33	14	14	11	10,5
13	164	40	0,31	14,5	13	12,5	10
30	175	39	0,32	13,5	12,5	8,75	8,75
28	177	38	0,32	12,5	11,25	8,5	8
45	186	39	0,32	13,5	13	8,75	8,75
43	153	36	0,34	15	13,5	8,25	7,75
60	154	36	0,34	13,5	12,25	9,75	9,5
59	176	40	0,31	11,5	10,5	8,5	8,25
MÉDIA	168,75	38,125	0,3238	13,5	12,5	9,5	8,9375
DP	11,708	1,6421	0,0119	1,1019	1,1573	1,5119	0,9797
CV	6,9379	4,3071	3,6687	8,1626	9,2582	15,914	10,962

Observa-se para todos os tratamentos, 1, 0,5 e 0,125 mm, que os coeficientes de variação para a deformação específica são bastante baixos, significando que o diâmetro médio dos frutos escolhidos tiveram pouca variação. Dessa forma o efeito das amplitudes pode ser evidenciado sem o prejuízo da variação dimensional entre frutos. O mesmo não se pode afirmar quanto aos valores de força máxima e mínima que apresentaram coeficientes de variação elevados evidenciando a variabilidade no comportamento mecânico dos frutos distribuídos nas várias pencas, ao longo do cacho. Devido ao elevado valor do coeficiente de variação, as médias de força máxima e mínima perdem o significado, sugerindo que ensaios desta natureza sejam realizados com frutos extraídos de uma mesma penca. A variação da pré-carga foi maior quando as maiores amplitudes foram utilizadas significando que, quanto maior a amplitude maior a tendência de ocorrer deformações permanentes.

5- CONCLUSÕES

Dos ensaios realizados podemos concluir que

- O transporte manual, diretamente nos ombros do carregador causa danos nos frutos.
- A topografia do terreno aumenta os níveis de aceleração sobre os frutos durante o transporte aumentando o potencial de danos.
- Os níveis de ruptura dos frutos não foram atingidos durante o caminhamento e, conseqüentemente, os danos ocorrem devido as cargas cíclicas de pequena intensidade.
- Os danos, manifestados através de manchas escuras na casca, não estão linearmente correlacionados com as respectivas áreas das manchas.
- Frutos mais jovens da bananeira são menos resistentes às solicitações mecânicas e devem ser os mais protegidos durante o transporte.
- Ciclos de pequena amplitude de força podem ocasionar danos aos tecidos, pois alteram seu comportamento mecânico.

6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BÁRTHOLO, Gabriel Ferreira. Perdas e qualidade preocupam. **Revista Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.17, n.179. p.3, 1994.
- BÁRTHOLO, Gabriel Ferreira. Fruticultura: mais qualidade, melhor alimento. **Revista Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.17, n.180. p.3, 1994.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria de Abastecimento. Comissão Técnica de Normas e Padrões. **Normas e padrões de identidade, qualidade e embalagens para classificação e comercialização: banana**. 24p. Brasília. 1981.
- CHITARRA, Maria Isabel Fernandes; CHITARRA Admilson Bosco. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. São Paulo: Nagy, 1990
- CHITARRA Maria Isabel Fernandes. Colheita e qualidade pós-colheita de frutas. **Revista Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 17, n.179. p.12, 1994.
- FERRAZ, Antonio Carlos de Oliveira. **Propriedades mecânicas do internódio de cana-de-açúcar: uma contribuição metodológica**. 98p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 1987.
- MANICA, Ivo. **Fruticultura tropical 4: banana**. Porto Alegre: Cinco Continentes, 1997.
- MARTINS, Mauricio Pires. **Comportamento mecânico de Laranja-pêra**. 100p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Faculdade de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas, 1993.
- MEDINA, Julio César; BLEINROTH, Ernesto W.; TRAVAGINI, Décio A. **Banana: cultura, matéria prima, processamento e aspectos econômicos**. Série Frutas Tropicais n 3. 2 ed. Instituto de Tecnologia de Alimentos. Campinas. 302 p. 1990.
- MOREIRA, Raul Soares. **Banana: teoria e prática de cultivo**. 2 ed. São Paulo: Fundação Cargil, 1987.
- MOURA, Paulo Augusto Monteiro. Aspectos econômicos da cultura da bananeira. **Revista Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, n.133, p.3-7, janeiro, 1986.
- NOGUEIRA, R. I. **Processamento de secagem de banana: parâmetros ótimos na obtenção de banana-passa**. 158p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 1991.
- SILVA, Gislene. A volta por cima. **Revista Globo Rural**, São Paulo, n.103, p.19-27, maio, 1994.