

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**EFEITOS DAS ACELERAÇÕES E FREQUÊNCIAS
DURANTE O TRANSPORTE DO FIGO 'ROXO DE
VALINHOS'**

FAUSTO CORRÊA DE LACERDA

**CAMPINAS
FEVEREIRO DE 2004**

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

L116e Lacerda, Fausto Corrêa de
Efeitos das acelerações e frequências durante o transporte do figo 'roxo de Valinhos' / Fausto Corrêa de Lacerda.-- Campinas, SP: [s.n.], 2004.

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

1. Frutas Comercialização. 2. Figo – Produção – Valinhos (SP). 3. Figo – Propriedades mecânicas. 4. Transporte rodoviário de carga – Vibração. 5. Figo – Embalagem. 6. Produtos perecíveis. 7. Cultivos agrícolas – Perdas pós-colheita. I. Ferraz, Antonio Carlos de Oliveira. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**EFEITOS DAS ACELERAÇÕES E FREQUÊNCIAS
DURANTE O TRANSPORTE DO 'FIGO ROXO DE
VALINHOS'**

Dissertação de Mestrado submetida à banca examinadora para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, na Área de concentração de Maquinas Agrícolas.

FAUSTO CORRÊA DE LACERDA

Orientador: Prof. Dr. ANTÔNIO CARLOS DE OLIVEIRA FERRAZ

**CAMPINAS
FEVEREIRO DE 2004**

**A humanidade tem ouvidos feitos de maneira que continua a dormir quando o ruído
ressoa e só acorda com o eco.**

A. SCHNITZLER

DEDICATÓRIA

Dedico a minha esposa Helena, e a minha filha Larissa pelo amparo.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível graças ao apoio de algumas pessoas e instituições:

Ao Prof. Dr. Antônio Carlos de Oliveira Ferraz, pela sua orientação, paciência, amizade e companheirismo.

A FEAGRI – UNICAMP, Instituição na qual tive a honra de me aperfeiçoar e levar o seu nome.

Ao CENTO DE TECNOLOGIA DA UNICAMP pelo suporte para a realização dos ensaios de vibração.

A FAPESP – Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo apoio financeiro (Projeto n. 99/02513-6 Avaliação da qualidade de figos após o transporte).

Aos Professores da FEAGRI, a todos os integrantes da secretaria de pós-graduação pelo apoio e orientações.

Agradeço a amizade dos companheiros da pós-graduação.

SUMÁRIO

	Página
CAPA	
EPÍGRAFE	
AGRADECIMENTOS	iv
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES	xiii
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvi
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. INTRODUÇÃO	4
3.2. O FIGO	4
3.3. EMBALAGEM	5
3.4. TEORIA DA VIBRAÇÃO	8
3.4.1. INTRODUÇÃO	8
3.4.2. VIBRAÇÃO SENOIDAL	9
3.4.2.1. CARACTERÍSTICAS DA VIBRAÇÃO SENOIDAL	9
3.4.2.2. PARÂMETROS DA VIBRAÇÃO SENOIDAL	12
3.4.3. VIBRAÇÃO ALEATÓRIA	13
3.4.3.1. CARACTERÍSTICAS DA VIBRAÇÃO ALEATÓRIA	13
3.4.3.2. PARÂMETROS DA VIBRAÇÃO ALEATÓRIA	13
3.4.4. A TRANSFORMADA DE FOURIER	14

3.4.4.1.ERRO DE “LEAKAGE” NA TRANSFORMADA DE FOURIER.....	17
3.4.4.2.JANELA HANNING.....	20
3.4.5. FUNÇÃO DA DENSIDADE ESPECTRAL DE POTÊNCIA	23
3.4.6. FUNÇÃO DA TRANSMISSIBILIDADE DA ACELERAÇÃO	24
3.5. MEDIÇÕES DE TEMPERATURA COM TERMOPARES	26
3.6. ACELERÔMETROS.....	26
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	30
4.1. INTRODUÇÃO	30
4.2. LOCAL.....	30
4.3. MATERIAL	30
4.3.1. FIGOS.....	30
4.3.2. TRANSPORTE.....	31
4.3.3. EMBALAGEM.....	32
4.3.4. MEDIÇÃO DE ACELERAÇÃO	33
4.3.5. MEDIÇÃO DE TEMPERATURA	35
4.3.6. ENSAIOS DE LABORATÓRIO.....	35
4.4. METODOLOGIA.....	37
4.4.1. ACONDICIONAMENTO DOS FIGOS.....	37
4.4.2. MEDIDAS DE ACELERAÇÃO	38
4.4.3. AQUISIÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS	40
4.4.4. MEDIÇÃO DE TEMPERATURA	41
4.4.5. ENSAIOS DE LABORATÓRIO.....	42
4.4.6. MEDIÇÕES DO DIA 16.12.2003	47

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
5.1. INTRODUÇÃO	48
5.2. ANÁLISE DE SINAIS	48
5.2.1. INTRODUÇÃO	48
5.2.2. ANÁLISE ESTATÍSTICA	49
5.2.3. DENSIDADE ESPECTRAL DE POTÊNCIA (PSD)	51
5.3. FREQUÊNCIAS NO PERCURSO DE 20.01.2003	57
5.4. FREQUÊNCIAS NO PERCURSO REALIZADO EM 16.12.2003	60
5.5. ANÁLISE DOS SINAIS DE ACELERAÇÃO DE 16.12.2003	61
5.6. MEDIÇÃO DA TEMPERATURA EM 20.01.2003	64
5.7. MEDIÇÃO DA TEMPERATURA EM 16.12.2003	65
5.8. ENSAIOS DE LABORATÓRIO	66
6. CONCLUSÕES	77
7. BIBLIOGRAFIA	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.4.4.1. Variação da aceleração no tempo.....	15
Figura 3.4.4.2. Diagrama espectral correspondente ao sinal da Figura 3.4.4.1.....	16
Figura 3.4.4.1.1 Sinal de função seno de dez ciclos.....	18
Figura 3.4.4.1.2. Segmento de dois ciclos e meio da função seno.	19
Figura 3.4.4.1.3. Série de segmentos de dois ciclos e meio da função seno.	19
Figura 3.4.4.1.4. Magnitude completa da transformada de Fourier, segmento dois ciclos e meio da função seno.	20
Figura 3.4.4.2.1. Sinal seno de nove ciclos e meio.....	21
Figura 3.4.4.2.2. Janela Hanning normalizada da função seno.	22
Figura 3.4.4.2.3. Janela retangular e Hanning.....	23
Figura 3.4.6.1. Sistema de um grau de liberdade e diagrama do corpo livre.	24
Figura 3.6.1. Configuração básica do acelerômetro.	27
Figura 3.6.2. Posição A sensor em repouso, posição B sensor com excitação na base.....	29
Figura 4.3.1.1. Figs da variedade Roxo de Valinhos utilizados no experimento.	31
Figura 4.3.2.1. Vista lateral da carga do transporte de figos.	32
Figura 4.3.3.1 Figs embalados em engradado de madeira contendo três bandejas de papelão.....	33
Figura 4.3.4.1. Acelerômetro triaxial e vista frontal do Spider 8.....	34
Figura 4.3.4.2. Instrumentos de medição.	34
Figura 4.3.5.1. Registrador de temperatura e termopares.....	35

Figura 4.3.6.1 Atuador servo-hidráulico com arranjo dos engradados para excitação dos figos, o engradado vazio inferior foi utilizado como suporte.....	36
Figura 4.4.1.1. Aparência dos figos utilizados no experimento.	37
Figura 4.4.1.2. Carregamento parcial durante o recolhimento dos engradados nos galpões de diversas propriedades.....	38
Figura 4.4.2.1 Engradado com as bandejas e a posição do acelerômetro na bandeja central.	39
Figura 4.4.2.2. Localização dos três engradados com acelerômetros (1, 2 e 3) utilizados nas medidas durante o primeiro percurso.	40
Figura 4.4.4.1 Termopares inseridos nos figos.....	41
Figura 4.4.4.2. Localização dos engradados com os termopares na carroçaria.....	42
Figura 4.4.5.1 Detalhe da montagem dos engradados no sobre o atuador hidráulico.....	43
Figura 4.4.5.2 Identificação das bandejas e dos figos.	44
Figura 4.4.6.1. Localização dos dois engradados com acelerômetros (1 e 2) e dos dois engradados com termopares (1, 2, 3 e 4) utilizados nas medições de segundo percurso.	47
Figura 5.2.1.1. Sinais característicos de aceleração em três localizações do caminhão.....	49
Figura 5.2.3.1.Densidade Espectral de Potência (PSD) relativos aos sinais dos acelerômetros 1, 2 e 3. Registro 1	52
Figura 5.2.3.2. Densidade Espectral de Potência (PSD) relativos aos sinais dos acelerômetros 1, 2 e 3. Registro 2.	53
Figura 5.2.3.3. Densidade Espectral de Potência (PSD) relativos aos sinais dos acelerômetros 1, 2 e 3. Registro 3.	54

Figura 5.2.3.4. Densidade Espectral de Potência (PSD) relativos aos sinais dos acelerômetros 1, 2 e 3. Registro 4.	55
Figura 5.2.3.5. Densidade Espectral de Potência (PSD) relativos aos sinais dos acelerômetros 1, 2 e 3. Registro 5	56
Figura 5.3.1 Freqüências na traseira e no topo da carga, acelerômetro 1.....	58
Figura 5.3.2 Freqüências na traseira e no piso da carga, acelerômetro 2.	59
Figura 5.3.3 Freqüências no meio e no piso da carga, acelerômetro 3.....	60
Figura 5.5.1 Acelerômetro 1 ocorrência das freqüências.	62
Figura 5.5.2 Acelerômetro 2 ocorrência das freqüências.	63
Figura 5.6.1 Variações da temperatura na polpa do figo medidas no dia 20.01.2003.....	64
Figura 5.7.1 Variação da temperatura na polpa do figo medida no dia 16.12.2003.....	65
Figura 5.8.1 Aparência dos figos após ensaio onde a bandeja trepidou e os figos rolaram com sinais visíveis da remoção da epiderme e perfurações provocadas pelos pedúnculos.....	68
Figura 5.8.2 Aparência dos figos após ensaio de vibração, com sinais de danos.	69
Figura 5.8.3 Aparência dos figos após ensaio, a bandeja sem danos de vibração.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.4.5.1 Procedimento para vibração aleatória das bandejas.	45
Tabela 4.4.5.2 Descrição dos danos e notas por ocorrência.	45
Tabela 4.4.5.3 Notas de avaliação dos figos.	46
Tabela 4.4.5.4 Categoria para os figos.	46
Tabela 5.2.2.1. Estatística dos sinais do registro 1.	50
Tabela 5.2.2.2. Estatística dos sinais do registro 2.	50
Tabela 5.2.2.3 Estatística dos sinais do registro 3.	50
Tabela 5.2.2.4. Estatística dos sinais do registro 4.	51
Tabela 5.2.2.5. Estatística dos sinais do registro 5.	51
Tabela 5.3.1 Freqüências com níveis máximos de PSD's.	57
Tabela 5.3.2 Parâmetros estatísticos (PSD) do acelerômetro 1.	58
Tabela 5.3.3 Parâmetros estatísticos (PSD) do acelerômetro 2.	59
Tabela 5.3.4 Parâmetros estatísticos (PSD) do acelerômetro 3.	60
Tabela 5.5.1 Parâmetros estatísticos de PSD do acelerômetro 1.	62
Tabela 5.5.2 Parâmetros estatísticos de PSD do acelerômetro 2.	63
Tabela 5.8.1 Distribuição aleatória das bandejas.	67
Tabela 5.8.2 Notas médias dos figos das bandejas que trepidaram durante as vibrações.	70
Tabela 5.8.3 Notas médias dos figos das bandejas que não trepidaram durante as vibrações	71
Tabela 5.8.4 Nota média dos figos cujas bandejas não trepidaram durante as vibrações	72
Tabela 5.8.5 Nota média dos figos cujas bandejas não trepidaram durante as vibrações.	73

Tabela 5.8.6 Distribuição dos resultados da classificação por classe de danos.....	74
Tabela 5.8.7 Bandejas que trepidaram, distribuição dos resultados por tempo de vibração	74
Tabela 5.8.8 Bandejas que não trepidaram, distribuição dos resultados por tempo de vibração	74
Tabela 5.8.9 Perdas de massa de todos os figos após as vibrações.....	75
Tabela 5.8.10 Perdas de massa dos figos cujas bandejas trepidaram dentro dos engradados	75
Tabela 5.8.11 Dados Meteorológicos na região de Campinas S. P. (CEPACRI) nos dias da realização dos experimentos.....	76

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

$a(t)$	- Função contínua no tempo	
T	- Período da vibração	
\overline{X}	- Valor médio	
$\overline{X^2}$	- Média quadrática	
X_{RMS}	- Valor eficaz	
σ	- Desvio padrão	
σ^2	- Variância	
$x(t)$	- Função contínua no tempo	
X	- Deslocamento	m
ω	- Frequência radial	radianos / tempo
$\dot{x}(t)$	- Função da velocidade	ms^{-1}
$\ddot{x}(t)$	- Função da aceleração	ms^{-2}
RMS	- Raiz média quadrada	
G_{RMS}	- Valor eficaz da aceleração	
G	- Aceleração da gravidade	$9,8ms^{-2}$
$Y(t)$	- Deslocamento no tempo	
t	- Tempo	segundos
$X(f)$	- Transformada de Fourier	
∞	- Infinito	
j	- Número complexo	

V	- Variável complexa	
f	- Frequência	Hz
δ	- Delta de Dirac	
w(t)	- Janela Hanning	
PSD	- Densidade Espectral de Potencia	G^2 / Hz
X^*	- Conjugado complexo	
m	- Massa	g
c	- Coeficiente de amortecimento viscoso	
k	- Coeficiente de elasticidade	
x	- Deslocamento absoluto	m
y	- Deslocamento de entrada	m
F	- Força	N
ω_n	- Frequência natural	Hz
ξ	- Taxa de amortecimento	
z	- Deslocamento relativo	m
\dot{z}	- Velocidade relativa	ms^{-1}
\ddot{z}	- Aceleração relativa	ms^{-2}
ρ	- Relação entre as frequências	
θ_i	- Ângulo de rotação	Radianos

RESUMO

Os consumidores do figo 'Roxo de Valinhos' estão mais exigentes quanto a sua qualidade. Sendo um produto perecível, requer cuidados especiais no seu transporte. O nível de danos mecânicos e a variação de firmeza dos frutos durante o transporte podem comprometer seriamente a qualidade das frutas. O presente trabalho teve por objetivos medir as acelerações durante o transporte, em percurso de 90 km em via pavimentada, identificar as frequências dominantes e investigar os efeitos dessas frequências através de ensaios laboratoriais utilizando mesa vibratória. Os procedimentos adotados foram adequados para medir as acelerações e identificar as frequências que ocorrem durante o transporte. Concluiu-se que as frequências de 2 Hz e 13 Hz predominaram durante o percurso, sendo que na frequência de 13 Hz, nas condições atuais de embalagens e transporte, podem ocorrer de danos mecânicos aos figos

ABSTRACT

'Roxo de Valinhos' fig consumers have become more demanding concerning quality. As a perishable produce it demands special care during transportation. The level of mechanical damages and variations of fruit firmness during transportation may severely reduce fruit quality. This work aimed to measure acceleration levels during truck transportation of packed 'Roxo de Valinhos' figs on paved roads, in a 90km distance, to identify the dominant frequencies and to investigate the effects of these frequencies in fig quality using a vibrating table. The procedures adopted showed to be adequate to measure acceleration levels, to identify the dominant frequencies and to test their effect on the figs. It was found dominant frequencies of 2 Hz and 13 Hz, and concluded that mechanical damages are more likely to occur when figs are vibrating at the frequency of 13 Hz.

1. INTRODUÇÃO

A figueira, como a maioria das frutas tropicais, é originária da Ásia Menor e presume-se que a sua introdução no Brasil se deu no século XVI, com a chegada dos portugueses. Embora excelentes variedades de figueiras originárias, em grande parte da Espanha, de Portugal e do norte da África, tivessem se aclimatado perfeitamente a diferentes regiões do país, seu cultivo não ultrapassava o limite das chácaras urbanas e dos quintais das fazendas.

Foi entre os anos 1910 e 1920, que se iniciou o plantio de figueiras na região mineira de Poços de Caldas, destinando-se ao consumo local e à indústria caseira de doces e compotas. Em 1910, foram introduzidos no Brasil os figos roxos, trazidos da Itália por imigrantes, sendo a sua cultura iniciada na cidade de Valinhos SP, onde encontrou condições ideais ao seu cultivo. A região é a maior produtora de figos do país, sendo por isso chamada a "Capital do Figo".

Sob a orientação do Instituto Agrônomo de Campinas, após a queda da produção cafeeira no início dos anos 30, e muitas vezes, em substituição à mesma, um grande impulso foi dado à produção de figos, associada à de uvas, no Estado de São Paulo. Ali se destacavam as regiões compreendidas entre Campinas, Itatiba, Valinhos, Jundiaí, São Paulo e Mogi das Cruzes, sendo algumas delas, até os dias de hoje, bastante produtivas.

A partir de 1994, com a entrada do Plano Real, verificou-se sensível diminuição dos ganhos financeiros de qualquer atividade econômica e se demonstrou, claramente ações economicamente viáveis. Conseqüentemente tornou-se necessário planejamento dos investimentos, custos e retorno financeiro por parte dos empresários.

Na produção de figos, são necessários conhecimentos relacionados à manipulação da fruta durante a colheita, transporte para o setor de embalagem, instalações para armazenagem, seleção e empacotamento, conforto térmico do produto, condições sanitárias, disponibilidade de mão-de-obra treinada, transporte até os centros consumidores e atendimento as exigências dos mercados consumidores.

Os consumidores estão cada vez mais exigentes quanto à qualidade dos produtos consumidos. A aceitação do figo "in natura" pela população é excelente, porém, por ser um

produto perecível, requer cuidados para que a qualidade seja mantida. Os parâmetros de qualidade mais comuns são a cor, firmeza, tamanho, aparência, sabor, etc.

O transporte dos frutos, realizado através de caminhões dos pomares de Valinhos e região, até os centros de distribuição, geralmente Ceasa e Ceagesp, ocorre em rodovia de diversas condições, expondo os produtos a impactos e vibrações. Tais exposições podem provocar injúrias por abrasão, impactos e redução tempo de vida e, conseqüentemente, perdas do produto. Além disso, condições inadequadas de temperatura e umidade relativa podem acelerar as perdas de água por transpiração.

Experiências mostram a ocorrência de perdas em frutas e hortaliças a caminho do mercado causadas por injúrias mecânicas. Estudos indicam que, as vibrações em trânsito contribuem para estas perdas, e podem ser mais importantes do que impactos como fonte de danos (Hinsch et al, 1992). Em ensaio de vibração, durante o transporte de longa distância de para cerejas, nectarinas e pêras, em carretas fechadas equipado com suspensão de molas, o maior nível Densidade Espectral de Potência (PSD) encontrado foi próximo de 3,5 Hz.. Ocorreram também outras freqüências, com valores elevados da PSD de 9, 18 e 25 Hz (Hinsch, 1992). Resultados similares foram encontrados nos testes com tomates frescos (Ardito, 1986). Contudo, no transporte de tomates, em carretas fechadas equipadas com suspensão a ar, os níveis da PSD foram menores nas freqüências de 3,5; 9; 18 e 25 Hz, evidenciando assim uma menor transmissibilidade de vibrações no transporte com este sistema de suspensão. Os maiores níveis da PSD foram encontrados na traseira da carreta, encontrando-se valores de aceleração horizontal muito menores do que as da vertical. Conhecer as acelerações e freqüências que ocorrem durante o transporte de produtos perecíveis em carreta fechada e refrigerada poderá contribuir para determinar procedimentos para amortecer a energia de vibração, e reduzir as perdas na qualidade dos produtos, (Slaughter 1992).

2. OBJETIVOS

Devido à carência de informações disponíveis sobre as solicitações mecânicas provocadas por vibrações durante o transporte do figo, o presente trabalho teve por objetivos, através da medição das acelerações em transito, em vários pontos da carga, identificar as frequências dominantes. Investigou-se também os efeitos dessas frequências, sobre a aparência dos figos, utilizando uma mesa vibratória.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. INTRODUÇÃO

O figo ‘Roxo de Valinhos’, produzido na região de Campinas, destina-se ao mercado interno, através do centro de distribuição (CEAGESP), e ao mercado de exportação. Sendo um produto altamente perecível, são necessários conhecimentos relacionados à manipulação da fruta durante a colheita, transporte até os galpões de expedição, seleção e embalagem, instalações para armazenagem, conforto térmico, condições sanitárias, mão-de-obra disponível e treinada, transporte até os centros consumidores e o atendimento as exigências dos mercados consumidores.

3.2. O FIGO

As figueiras são representantes da família das Moraceae, a qual possui cerca de 48 gêneros com quase 1200 espécies, Mabberley (1987) e Pereira (1981). O gênero *Ficus carica* L. engloba todas elas, denominadas de figueira, compreendendo 900 espécies até o momento, Berg (1989). As figueiras são abundantes em ambientes úmidos tropicais e sub tropicais, e estão distribuídas por todo o globo terrestre, de 45°N a 35°S, Córner (1958 e 1965). As inflorescências do gênero *Ficus* L. têm morfologia bastante peculiar, provavelmente para a proteção contra fitofagia e a reprodução de insetos nestas inflorescências, Berg (1989 e 1990). As figueiras podem ser monóicas ou dióicas, e suas flores crescem no interior de um receptáculo suculento chamado sicônio. As espécies monóicas apresentam, no mesmo sicônio, flores femininas e masculinas, e produzem tanto sementes como permitem o desenvolvimento de vespas polinizadoras. As figueiras dióicas produzem plantas de dois tipos diferentes de sicônios, alguns são utilizados unicamente para ovoposição das vespas polinizadoras, e outros que somente produzem sementes, Lambert (1992). Após a fecundação desenvolvem-se os frutos, neste caso denominados aquênios. O figo apresenta morfologia peculiar exibindo um eixo invertido de inflorescência que posteriormente irá formar uma infrutescência, comercialmente é considerado um fruto, e os aquênios que são os frutos verdadeiros, são normalmente chamados de sementes, Janzen (1979a.).

3.3. EMBALAGEM

A embalagem vem assumindo a cada dia uma posição de destaque na elaboração e comercialização de produtos, seja pelo benefício de preservação das suas características que uma embalagem bem dimensionada deve oferecer, seja pelo custo que agrega no preço final. Pode-se afirmar que a utilização de embalagens inadequadas contribui de forma significativa para as perdas no processo. O figo, devido a sua natureza altamente perecível necessitando de embalagem eficiente para a manutenção da sua qualidade até a chegada ao mercado consumidor, (Honório et al, 2002).

A principal função de qualquer embalagem é proteger o conteúdo, para que não seja agredido. Isso significa preservar o produto por período de tempo desejado sem afetá-lo. Assim sendo, a embalagem deve conter propriedades capazes de absorver impactos, vibrações e outros agentes externos que podem provocar ou acelerar as perdas da qualidade do produto. Atualmente existe uma grande variedade de produtos competindo entre si nos supermercados. Sob esse ponto de vista, é desejada uma embalagem que atraia o consumidor pelo visual, a fim de vender o seu conteúdo.

Para a especificação de uma embalagem adequada é necessário o conhecimento das características do produto, pois são elas que devem ser preservadas, e alterações durante a manipulação do produto poderão resultar em perdas de qualidade.

As frutas e hortaliças que comercializadas “in natura” são produtos que continuam seus processos metabólicos após a colheita, consumindo oxigênio e liberando principalmente gás carbônico, etileno, calor e água. O envelhecimento natural dos produtos vegetais após a colheita acontece pelo consumo de suas reservas internas, que reduz a sua estabilidade estrutural e torna-se mais suscetível a danos mecânicos e ao desenvolvimento de microrganismos.

A embalagem é um item de extrema importância para o êxito do produto. Porém, alguns ainda a vêem apenas como invólucro, ou ainda como um meio de vender o produto, no entanto, ela deve ser analisada de modo global.

Aparência e firmeza

Os danos mecânicos e a temperatura influenciam diretamente a aparência e a firmeza destes produtos. Frutas e vegetais frescos estão sujeitos às injúrias que podem ocorrer durante o manuseio, transporte e distribuição. Cerejas, nectarinas e pêras do tipo Bartlett têm demonstrado que os refugos variam de 15 a 68% do total de perdas do mercado, Ceponis e Butterfield (1974, 1981, 1985) e Ceponis e Cappellini (1985). A base para gerenciamento da qualidade do produto é antecipar os resultados dos danos devido à sensibilidade do produto aos riscos da distribuição, Schoor e Holt (1982). O'Brien em (1963) afirmou que dois fatores contribuem para os danos em frutas: a magnitude da força e o número de vezes que ela se repete num dado ponto. Afirmaram Goff e Twede (1979) que vibrações podem causar mais danos do que impactos às frutas.

Ardito (1986) constatou que a amplificação das vibrações durante o transporte de tomates aumentam os danos mecânicos. Nos engradados de madeiras (caixas tipo K 2), isto ocorre provavelmente devido à ação do atrito entre os tomates, e também dos tomates e as superfícies rugosas das caixas. Nas embalagens corrugadas, os danos são provavelmente devido ao movimento de rotação dos tomates na embalagem, e também em função das forças de compressão. As embalagens de tomates localizadas no topo da carga produziram uma taxa alta de injúrias tanto para as embalagens de madeira como para as corrugadas, nas camadas do meio da carga as embalagens corrugadas apresentaram menos danos. No piso da carga as embalagens corrugadas sofreram uma ação maior dos efeitos das forças de compressão, do que os engradados de madeira, são muito prováveis que isto ocorreu devido à baixa resistência à compressão das embalagens corrugadas.

Avaliação da Qualidade

A qualidade do produto nos supermercados depende de vários fatores fisiológicos e ambientais. A deterioração de frutas e hortaliças é um processo irreversível e inevitável. A qualidade dos produtos pode ser preservada, mas não melhorada, McGregor (1989). Durante o transporte, o manuseio e a distribuição, o produto pode ser exposto a flutuações de temperatura, perda de massa, danos mecânicos e cargas mistas. A fim de assegurar a

entrega de frutas e hortaliças de boa qualidade no posto de venda, devem ser embarcados produtos de qualidade superior, e esta qualidade deve ser mantida durante todo o processo de distribuição, Honório (2002).

Temperatura

A temperatura tem grande influência na qualidade dos produtos hortícolas, age no seu metabolismo e na taxa de deterioração. É essencial diminuir a temperatura após a colheita e manter a esta temperatura durante o beneficiamento e distribuição, Honório (2002).

Perdas de massa

Frutas e hortaliças perdem água após a colheita por meio de transpiração. Na ausência de um suprimento de água pela planta-mãe, o produto poderá murchar, tornando-se seco e sem sabor. Perdas de água em excesso afetam diretamente a aparência e o peso do produto. A transpiração depende do teor de água do produto e da umidade relativa do ambiente. Frutas e hortaliças em geral contêm cerca de 85% a 90% de água, em peso (Nicholas 1985).

3.4. TEORIA DA VIBRAÇÃO

3.4.1. INTRODUÇÃO

O estudo das vibrações é de extrema importância para os mais variados segmentos da engenharia, principalmente a mecânica e as estruturas, e estão relacionados aos movimentos oscilatórios dos corpos e as forças a ele associadas. Todo sistema que possua massa e elasticidade é passível a movimento relativo, se este movimento se repete em intervalo de tempos determinado, ele é denominado de vibração ou oscilação. Vibrações em geral, são formas de energia que se perde, e na maioria das situações ela é indesejável, pois provocam tensões, ruptura e ruídos aos produtos que a ela estão expostos. As vibrações geralmente acontecem quando um sistema é perturbado da sua posição de equilíbrio, o sistema tende a retornar a sua posição inicial pela atuação das forças restauradoras.

Os sistemas oscilatórios podem ser, caracterizados como lineares ou não lineares. Sendo que para o primeiro caso prevalece o princípio da superposição, e os métodos matemáticos são eficientes para o seu estudo. Para os não lineares os métodos são mais complexos e menos conhecidos. Todavia, todos os sistemas oscilatórios representam o estado final para o qual eles tendem, com o aumento da amplitude de oscilação (Thompson 1973).

Vibração livre é o movimento periódico que acontece quando um sistema é deslocado da sua posição de equilíbrio estático e liberado. Neste caso o sistema poderá vibrar com uma ou mais das suas frequências naturais, que são particulares ao sistema dinâmico estabelecido pela distribuição de sua massa e rigidez Seto (1964).

Vibração forçada ocorre sob a ação de forças externas, se a excitação é oscilatória, o sistema é forçado a vibrar na frequência da excitação. Se esta frequência coincide com uma das frequências naturais do sistema, formando um estado de ressonância, resultando assim oscilações incontroláveis, Thompson (1973).

Em estudo de perdas, Pierson et al (1982) estimaram que as perdas durante o transporte de frutas e hortaliças nos E U A, em 1977, ficaram entre US\$ 268 e US\$ 380

milhões. Ceponis e Butterfield (1974), Write e Billeter (1975) indicaram que as perdas específicas no nível de varejo eram 4% para pêras e destes 4%, 68,4 % foram causados por injúrias mecânicas. Sommer (1957 a) constatou que a descoloração na pele de pêras Bartlett pode ser causada por vibração em trânsito, apesar da polpa da fruta não ser afetada. Geralmente, a vibração provoca um movimento de rotação da fruta dentro da embalagem, e o atrito causa a descoloração da pele da fruta afetando a qualidade. Além disso, Sommer concluiu que as frutas danificadas pelo atrito de vibração perdem água mais rapidamente do que as não danificadas. O'Brien et al. (1963) constataram que a extensão dos danos provocados pelas vibrações em trânsito, depende da frequência, da amplitude, do tempo de exposição e das condições iniciais das frutas. Ardito (1986) observou também que as vibrações em trânsito ocorrem em maior magnitude na traseira e no topo da carga, e calculou as frequências naturais de containeres de fruta por compressão volumétrica, para se encontrar o módulo de elasticidade, com aplicação de um grau de liberdade.

Danos provocados pelas vibrações em trânsito, geralmente ocorrem nos pontos de contato entre pêsesgos, ou no contato deles com as superfícies da embalagem quando ambos estão sujeitos a vibração. Os pontos de contatos podem ser identificados como um anel que circunda a fruta. Uma área circular de descoloração amarronzada, de 6 a 12 mm no diâmetro geralmente marca o ponto de contato. Secionando os pêsesgos através dos pontos de contatos, revelou não haver descoloração e nem danos visíveis na poupa dos pêsesgos, Vergano et al. (1991).

3.4.2. VIBRAÇÃO SENOIDAL

3.4.2.1. CARACTERÍSTICAS DA VIBRAÇÃO SENOIDAL

Considerando um sistema de um único grau de liberdade, sob a excitação de uma força ou excitação da base, tanto a função da força de entrada como a resposta de saída pode ter a forma de uma excitação senoidal. Esta forma de oscilação é muito importante na

análise de vibração. Mesmo complexa as vibrações aleatórias podem ser representadas por uma série de funções seno.

Parâmetros estatísticos.

Há determinados parâmetros estatísticos usados para caracterizar um sinal. Estes parâmetros podem ser usados para qualquer tipo de sinal, neste caso o objetivo é o sinal senoidal. O primeiro parâmetro é o valor médio ou a média. Considere a função $\mathbf{a(t)}$ contínua e com duração \mathbf{T} , o valor médio \bar{X} é;

$$\bar{X} = \lim T \rightarrow \infty \frac{1}{T} \int_0^T a(t) dt \quad (3.4.2.1.1)$$

No ensaio o sinal medido não tem uma duração infinita, com isto a equação pode ser modificada para um sinal finito. Uma função senoidal de amplitude A e com duração de um ciclo apresenta $\bar{X} = 0$, onde

$$\bar{X} = \frac{1}{T} \int_0^T A \operatorname{sen} \left[\frac{2\pi t}{T} \right] dt \quad (3.4.2.1.2)$$

O valor médio de um único ciclo da função seno é igual a zero, da mesma forma, o valor médio de n ciclos da função senoidal é também igual a zero, desde que n seja um número inteiro. Se o número de ciclos não é um inteiro, a equação do valor médio é diferente de zero.

O valor da média é importante quando um segmento de aceleração medido tem um erro de deslocamento, ou seja, a sua da linha base esta deslocada da linha zero. Isto ocorre devido a problemas de instrumentação, e este erro de deslocamento precisa ser removido.

Outro parâmetro estático muito importante na análise de vibração é a quadrática, dada média por;

$$\overline{X^2} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T [a(t)]^2 dt \quad (3.4.2.1.3)$$

O valor da média quadrática para um ciclo da função senoidal é;

$$\overline{X^2} = \frac{1}{T} \int_0^T \left\{ A \operatorname{sen} \left[\frac{2\pi t}{T} \right] \right\}^2 dt \quad (3.4.2.1.4)$$

$$\overline{X^2} = \frac{A^2}{2} \quad (3.4.2.1.5)$$

A valor da raiz média quadrática (RMS), é a raiz quadrada do valor da média, assim para um ciclo da função senoidal o seu valor é;

$$X_{RMS} \cong 0,707A \quad (3.4.2.1.6)$$

As equações 3.4.2.5, 3.4.2.6 são para as funções senoidais com numerosos ciclos, e também pode ser calculada através da seguinte equação;

$$\overline{X^2} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (xi^2) \quad (3.4.2.1.7)$$

Desvio padrão

Outro importante parâmetro estatístico é o desvio padrão, que representa a medida de dispersão em torno da média. O desvio padrão está relacionado aos valores da média e da média quadrática como segue;

$$\sigma^2 = \overline{X^2} - [\overline{X}]^2 \quad (3.4.2.1.8)$$

σ^2 é chamado de variância.

O desvio padrão é igual ao valor de RMS se a média for zero, e também pode ser calculado através da seguinte equação;

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (x_i - \overline{X})^2} \quad (3.4.2.1.9)$$

3.4.2.2. PARÂMETROS DA VIBRAÇÃO SENOIDAL

Num sistema de um único grau de liberdade submetido a uma vibração senoidal, a amplitude de deslocamento da função $x(t)$ é calculada pela equação;

$$x(t) = X \text{ sen}(\omega t) \quad (3.4.2.2.1)$$

Onde X é o deslocamento(m) ω é a frequência (radianos / tempo).

As expressões para a velocidade e aceleração obtidas pelas derivações sucessivas da expressão (3.4.2.2.1).

$$\dot{x}(t) = \omega X \cos(\omega t) \quad (3.4.2.2.2)$$

$$\ddot{x}(t) = \omega^2 X \text{ sen}(\omega t) \quad (3.4.2.2.3)$$

3.4.3. VIBRAÇÃO ALEATÓRIA

3.4.3.1. CARACTERÍSTICAS DA VIBRAÇÃO ALEATÓRIA

Uma vibração aleatória é composta de múltiplas frequências, na verdade, é composta de um espectro contínuo de frequências. A vibração aleatória pode ser comparada com a luz branca, que após passar por um prisma revela o espectro contínuo de cores, da mesma forma a vibração aleatória pode passar através de um analisador de espectro para revelar o espectro contínuo de frequências, (Steinberg 1988).

3.4.3.2. PARÂMETROS DA VIBRAÇÃO ALEATÓRIA

A vibração aleatória pode ser caracterizada através de seus parâmetros estatísticos, como os valores máximos e mínimos (G), a média (G), o desvio padrão (G), o valor eficaz (G_{RMS}). Na sessão 3.4.2.1 mostrou-se que a vibração senoidal é $\sqrt{2}$ vezes o seu valor de RMS, todavia a vibração aleatória não tem uma taxa fixa entre o seu valor de pico e o valor de RMS. A taxa entre o seu valor de pico absoluto e o valor de RMS pode ser obtida através da expressão;

$$\frac{G_{pico}}{G_{RMS}} = A$$

O valor de RMS é igual ao desvio padrão quando a média for zero, o desvio padrão geralmente é representado pelo sigma σ , desta forma os dados de sinal da tabela 3.4.2.1.1 tem um valor de pico de $A \sigma$, todavia um sinal aleatório qualquer poderia ter um valor de pico mais alto ou mais baixo em termos de seu desvio padrão. A figura 3.4.3.1.1 mostra o sinal analisado da Tabela 3.4.3.1.1.

Vibração aleatória não estacionária

Podem-se caracterizar as vibrações aleatórias em função de suas propriedades estatísticas como, a média, o desvio padrão, e curtose. A vibração aleatória é estacionária se

estas propriedades estatísticas permanecem constantes com o tempo, caso contrário ela é não estacionária. A vibração aleatória de um veículo trafegando a velocidade de 90 quilômetros por hora em num autopista de superfície lisa é estacionária, e permanece até que as condições de pista e velocidade sejam alteradas. Durante o tráfego nas regiões urbanas com muitas paradas, a vibração não é estacionária, além disso podem ocorrer eventos de transientes na vibração quando ele cruza os trilhos de ferrovias, defeitos na pista e outros obstáculos. Os transientes na vibração também são não estacionários, Steinberg (1988).

3.4.4. A TRANSFORMADA DE FOURIER

Os sinais de vibração estacionários de vibração ocorrem quando uma onda contínua percorre um determinado meio, reflete-se em algum obstáculo, volta e interfere com a onda original. É uma superposição de ondas de mesma frequência e mesma amplitude que se propagam no mesmo meio numa direção e sentidos opostos. Essa superposição é chamada onda de estacionária. (Bracewell 1965).

No exemplo (Figura 3.4.4.1) a variação de aceleração pode ser representada pela soma de diversas funções do seno para identificar as frequências e amplitudes dessas componentes. Assim o sinal mostrado na Figura 3.4.4.1 é gerado pela função:

$$Y(t) = 1.0 \text{ sen}[2\pi (10) t] + 1.5 \text{ sen}[2\pi (16) t] + 1.2 \text{ sen}[2\pi (22) t] \quad (3.4.4.1)$$

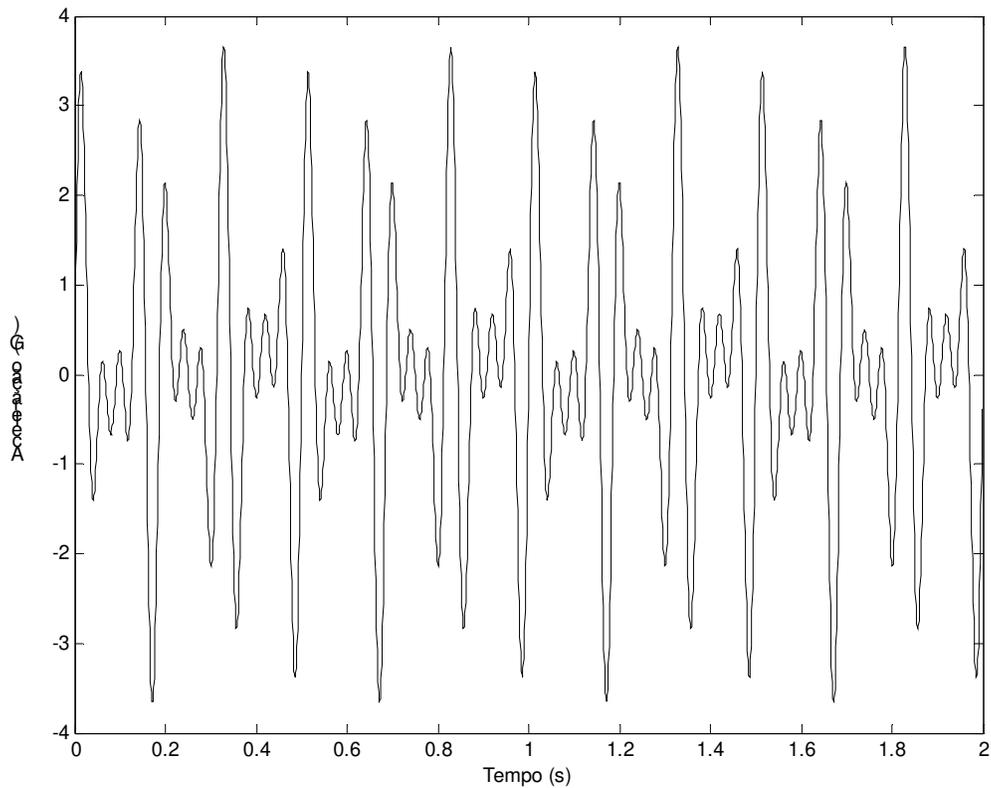


Figura 3.4.4.1. Variação da aceleração no tempo.

O sinal é composto por três componentes com as frequências, 10, 16, 22 Hz e as amplitudes são de 1.0, 1.5, e 1.2 G respectivamente. Além disso, cada componente pode ter um ângulo de fase, que neste exemplo é zero. Desta forma podemos identificar os dados de frequências e amplitudes através da função espectral. Uma função espectral ideal para a expressão 3.4.4.1 é o formato mostrado na Figura 3.4.4.2.

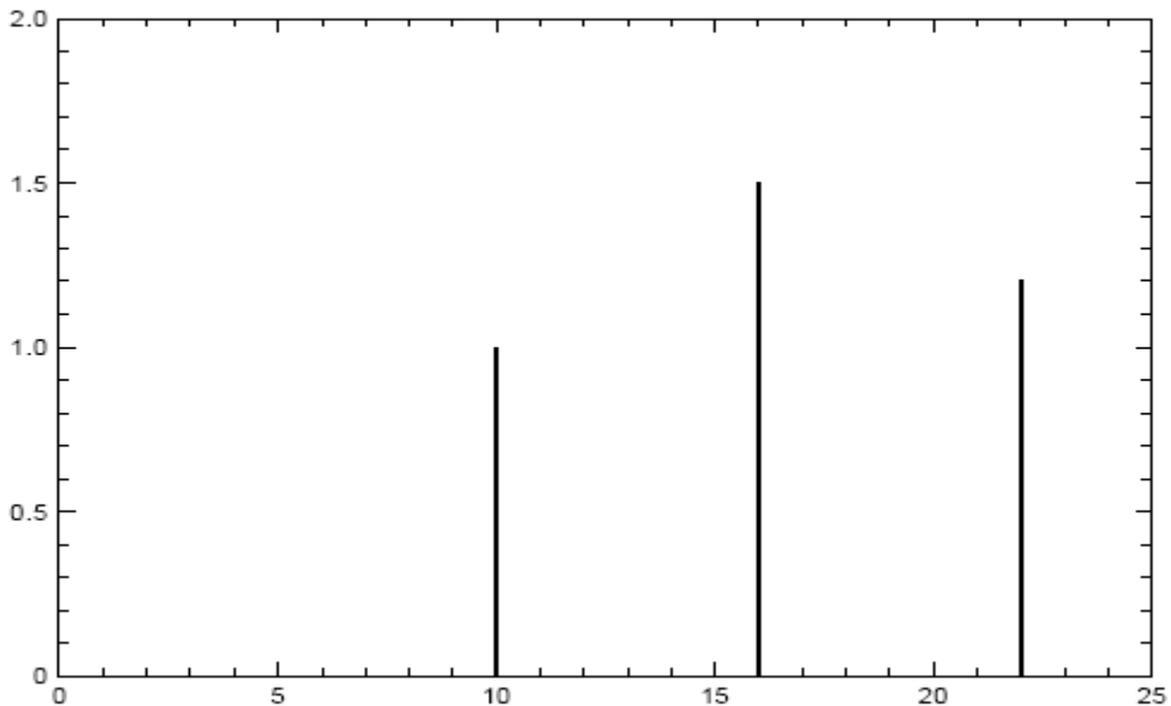


Figura 3.4.4.2. Diagrama espectral correspondente ao sinal da Figura 3.4.4.1.

Em parte a função espectral da Figura 3.4.4.2 é a transformada de Fourier da equação 3.4.4.1. O método utilizado na obtenção da transformada de Fourier consiste na derivação do sinal no domínio do tempo (Figura 3.4.4.1), para o domínio da frequência (Figura 3.4.4.2) na função espectral.

Transformada de Fourier contínua

A transformada de Fourier é um método que transforma a representação de um sinal do domínio do tempo para o domínio da frequência. É uma transformada exponencial complexa comparada à transformada de Laplace. A transformada de Fourier decompõe a forma de onda, ou função, em ondas senoidal de diferentes frequências, cuja soma reproduz a forma de onda original. Com isto ela identifica e distingue as diferentes frequências e amplitudes dos seus componentes.

A transformada de Fourier $X(f)$ para uma série contínua no tempo $x(t)$ é definida como;

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \exp[-j2\pi ft] dt \quad (3.4.4.2)$$

para $-\infty < f < \infty$

Sua inversa é dada por;

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f) \exp[+j2\pi ft] df \quad (3.4.4.3).$$

$X(f)$ é uma função complexa e pode ser representada através de suas componentes, real e imaginária, ou em termos de magnitude e fase.

A transformada inversa de Fourier, equação 3.4.4.3, calcula a forma complexa no tempo, e a sua transformada inversa será real se o sinal original no tempo for também real, Thomson (1973).

3.4.4.1. ERRO DE “LEAKAGE” NA TRANSFORMADA DE FOURIER

Existem inúmeras fontes de erros associadas à transformada de Fourier, e uma delas é o escoamento (leakage), é um espalhamento de energia através do domínio da frequência. Esta fonte de erro pode ocorrer quando as seguintes condições estão presentes: o sinal é capturado numa duração finita, e não periódico no registro do tempo. O erro ocorre se a transformada de Fourier é calculada para um número incompleto de ciclos da função seno.

Para evidenciar melhor o erro de leakage vamos considerar um sinal de uma função contínua de uma onda senoidal como exemplo, $Y(t) = 1 \cdot \text{sen}(2\pi t) G$, a amplitude é de 1 G e a frequência de 1 Hz, Figura 3.4.4.1.1 a taxa de aquisição é de 32 amostras por segundo.

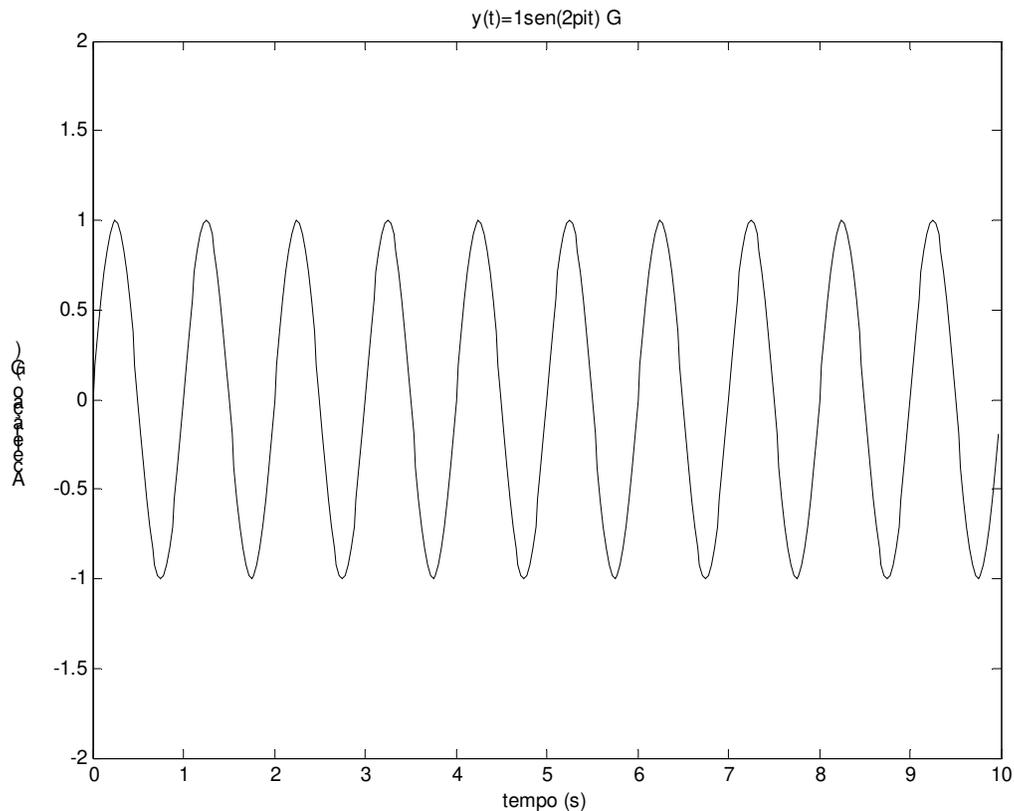


Figura 3.4.4.1.1 Sinal de função seno de dez ciclos.

Deste sinal da função seno da Figura 3.4.4.1.1, trabalhando com dois ciclos e meio, figura 3.4.4.1.2, a transformada de Fourier vai assumir que o sinal original é também uma serie de segmentos de dois ciclos e meio, Figura 3.4.4.1.3. Pode-se ver que os segmentos deste sinal é um registro não periódico no tempo. A Figura 3.4.4.1.4 mostra o sinal submetido à transformada de Fourier, e o erro de leakage é evidenciado pelo espalhamento de energia através das faixas de frequências.

A resolução de frequência é $\Delta f = 0,4$ Hz, assim as linhas espectrais estão localizadas nas seguintes frequências; 0; 0,4; 0,8; 1,2; 1,6; ..., no entanto não aparece linha espectral na frequência de 1 Hz, que é a frequência da função seno, Randall (1987).

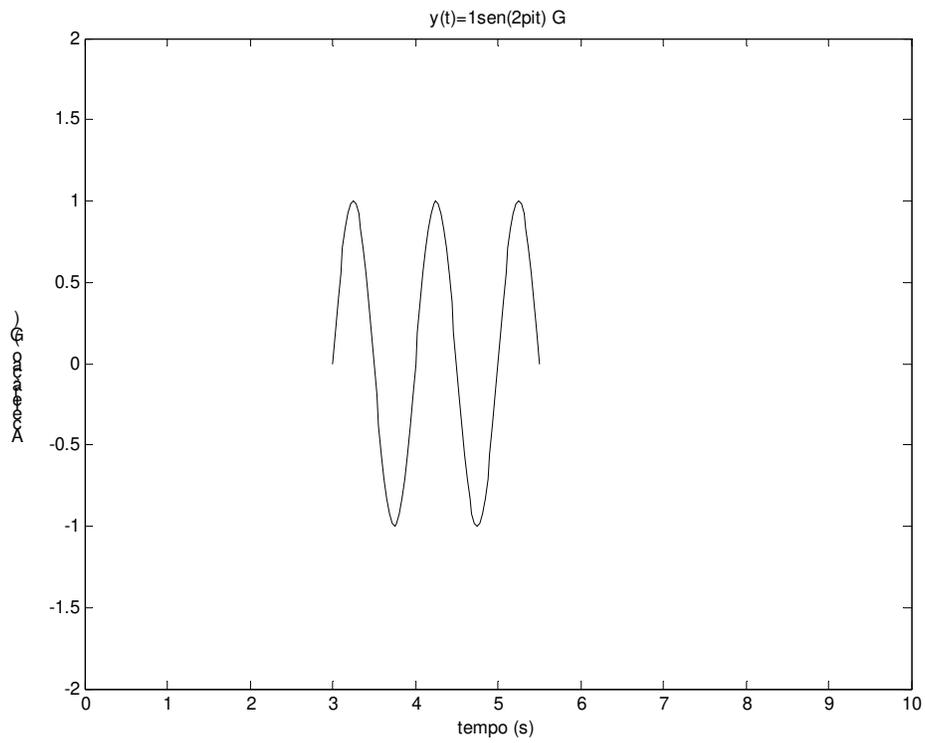


Figura 3.4.4.1.2. Segmento de dois ciclos e meio da função seno.

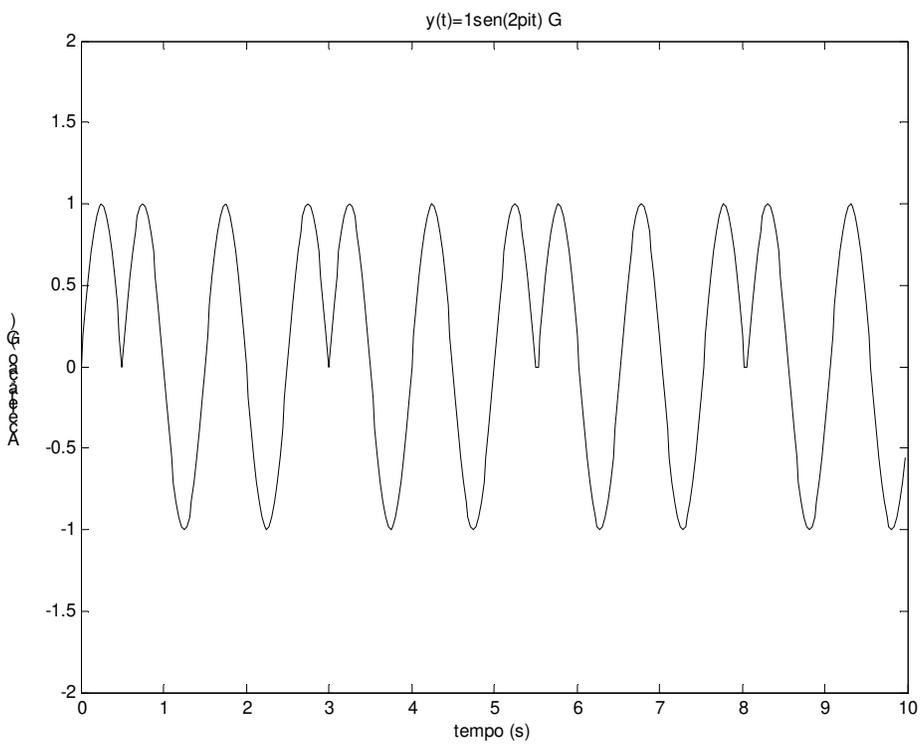


Figura 3.4.4.1.3. Série de segmentos de dois ciclos e meio da função seno.

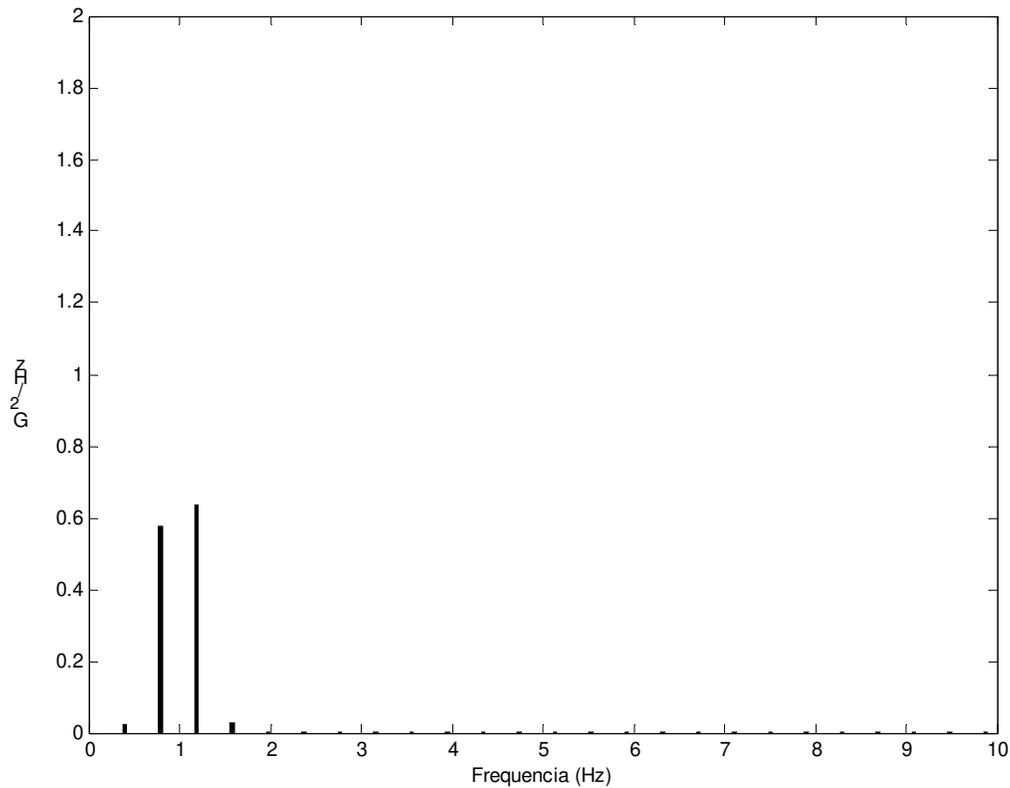


Figura 3.4.4.1.4. Magnitude completa da transformada de Fourier, segmento dois ciclos e meio da função seno.

Nota-se que neste último exemplo com segmento de dois ciclos e meio ocorreu o fenômeno de leakage. Este fenômeno não ocorre quando for utilizado um segmento de números completos de ciclos, Randall (1987).

3.4.4.2. JANELA HANNING

Os erros de leakage podem ser reduzidos submetendo o sinal do domínio do tempo a um sistema de janelas. Os dois tipos mais comuns de janelas são a retangular e Hanning. A janela retangular é indicada para sinais de transientes, ou sinais de vibrações não estacionárias. A janela Hanning, ou o co-seno ao quadrado, Equação 3.4.4.2.1 é indicado para vibrações estacionárias.

$$w(t) = \left\{ 1 - \cos^2 \left[\pi \frac{t}{T} \right] \right\}, \quad 0 \leq t \leq T \quad (3.4.4.2.1)$$

Para evidenciar melhor a aplicação entre as duas janelas vamos considerar a mesma função continua de uma onda senoidal utilizada nos exemplos acima, $Y(t) = 1 \cdot \text{sen}(2\pi \cdot t) \text{ G}$, a amplitude é de 1 G e a freqüência de 1 Hz, Figura 3.4.4.2.1, só que desta vez a duração do tempo é de 9,5 segundos, portanto nove ciclos e meio. Após ser submetido à transformada de Fourier, o sinal da Figura 3.4.4.2.2 mostra a janela Hanning normalizada da função seno, e na Figura 3.4.4.2.3 estão juntas as duas janelas, Randall (1987).

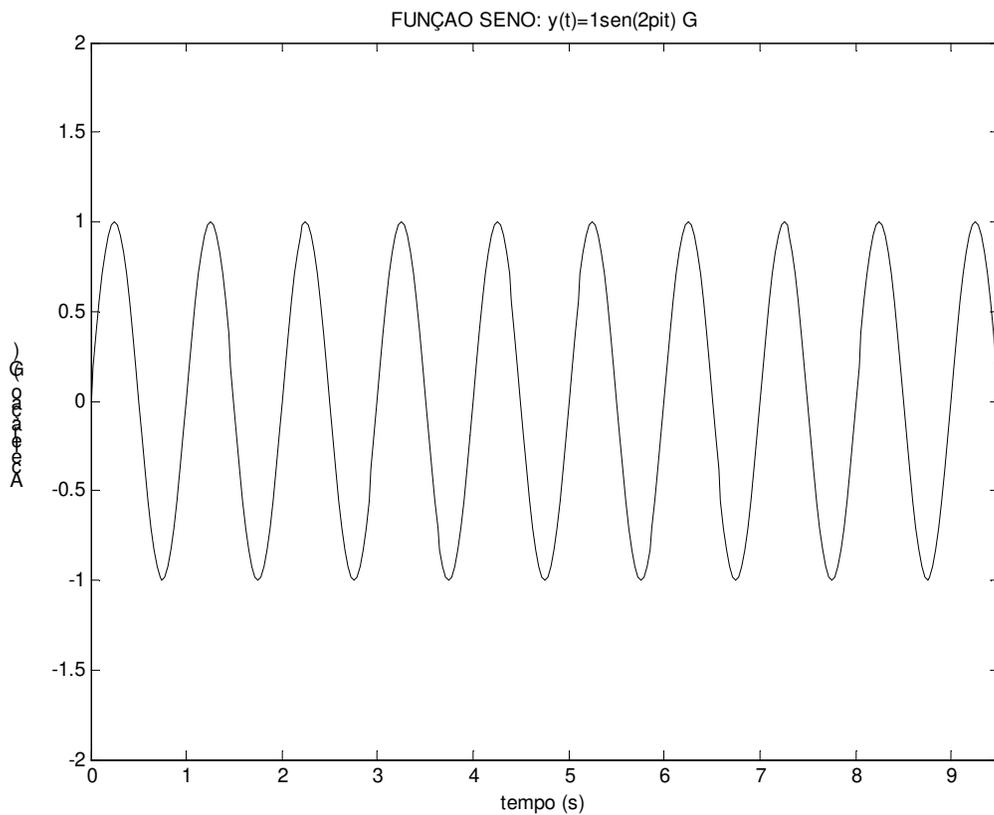


Figura 3.4.4.2.1. Sinal seno de nove ciclos e meio.

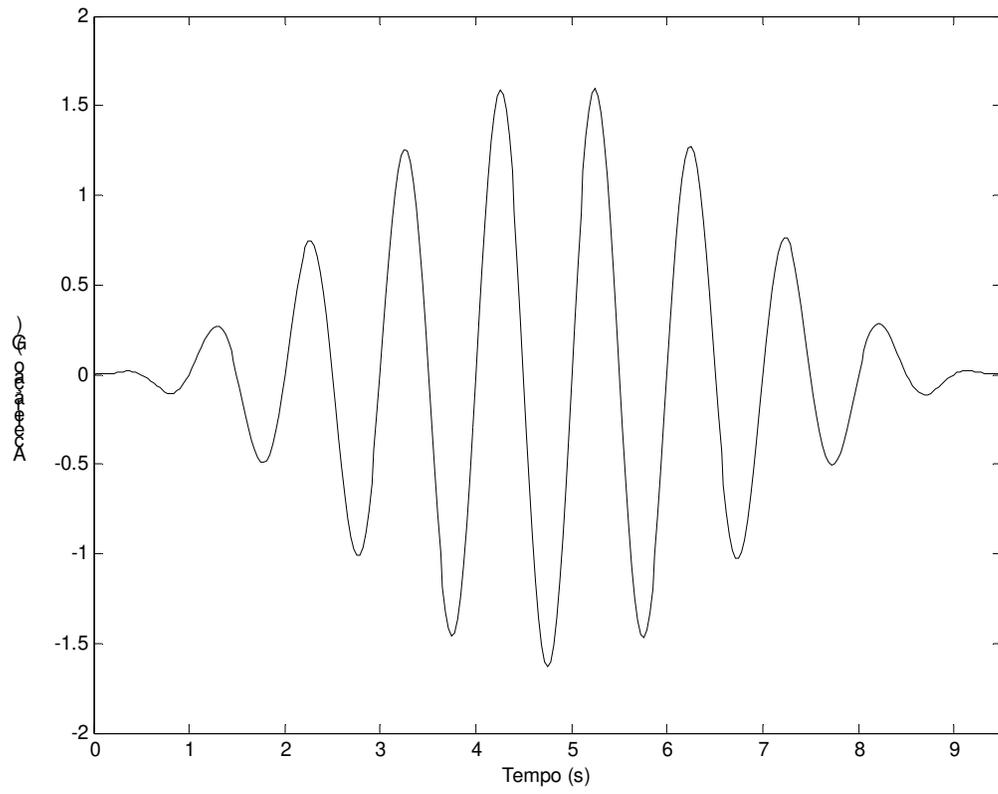


Figura 3.4.4.2.2. Janela Hanning normalizada da função seno.

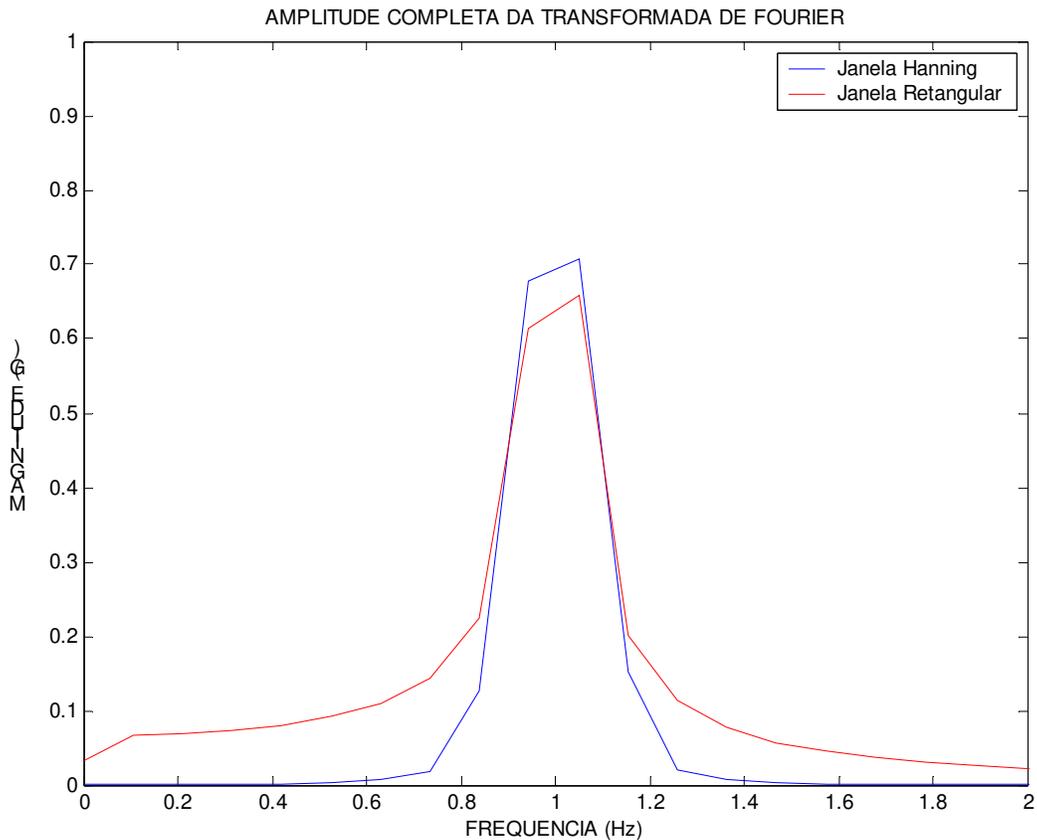


Figura 3.4.4.2.3. Janela retangular e Hanning.

O ideal seria que o gráfico apresentasse uma única linha discreta de amplitude de 1 G, e a freqüência de 1 Hz. Entretanto, a janela retangular e a janela Hanning da transformada de Fourier apresentam erro de leakage. A janela retangular produz mais erro de leakage do que a janela Hanning, desta forma a janela Hanning é indicada para vibrações estacionária, Randall (1987).

3.4.5. FUNÇÃO DA DENSIDADE ESPECTRAL DE POTÊNCIA

A transformada de Fourier é um formato relativamente pobre para representar vibrações aleatórias, pois a magnitude de Fourier depende da quantidade de linhas espectrais. A função da densidade espectral de potência (PSD), que pode ser calculada através da transformada de Fourier supera esta limitação. A função PSD que representa a

magnitude e desconsidera o ângulo de fase. A magnitude é representada pela unidade G^2 / Hz , onde G é igual ao valor G_{RMS} , (equação 3.4.5.1). O valor total de G_{RMS} é a raiz quadrada da área que está sob a curva da função PSD.

$$G_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2} \quad (3.4.5.1)$$

Na equação 3.4.5.2 o limite da transformada de Fourier $X(f)$ multiplicado pelo seu conjugado complexo e dividido pelo seu período tendendo ao infinito, é representada simbolicamente por $X_{PSD}(f)$.

$$X_{PSD}(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{X(f)X^*(f)}{T} \quad (3.4.5.2)$$

As vibrações aleatórias podem ser representadas no domínio da frequência pela função PSD, a G_{RMS}^2 / Hz , cuja notação abreviada é G^2 / Hz , Thomson (1973).

3.4.6. FUNÇÃO DA TRANSMISSIBILIDADE DA ACELERAÇÃO

Considerando-se o sistema como um grau de liberdade submetido a uma vibração senoidal em sua base e diagrama do corpo livre (Figura 3.4.6.1).

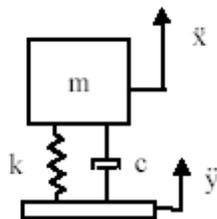


Figura 3.4.6.1. Sistema de um grau de liberdade e diagrama do corpo livre.

Onde as variáveis são:

m = massa; c = coeficiente de amortecimento viscoso; k = coeficiente de elasticidade;
 x = deslocamento absoluto da massa; y = deslocamento de entrada na base;

As somatórias das forças na direção vertical;

$$\sum F = m\ddot{x} \quad (3.4.6.1)$$

$$m\ddot{x} = c(\dot{y} - \dot{x}) + k(y - x) \quad (3.4.6.2)$$

Fazendo $z = x - y$, onde z é o deslocamento relativo, e substituindo os termos que resulta em;

$$m(\ddot{x} - \ddot{y}) = -c\dot{z} + kz \quad (3.4.6.3)$$

$$m\ddot{z} + c\dot{z} + kz = -m\ddot{y} \quad (3.4.6.4)$$

Dividindo pela massa;

$$\ddot{z} + (c/m)\dot{z} + (k/m)z = -\ddot{y} \quad (3.4.6.5)$$

Onde:

$$(c/m) = 2\xi\omega_n^2 \quad (3.4.6.6)$$

$$(k/m) = \omega_n^2 \quad (3.4.6.7)$$

ω_n é frequência natural em (radianos por seg), e ξ é a taxa de amortecimento.

Substituindo;

$$2\xi\omega_n z = -\ddot{z} \quad (3.4.6.8)$$

Tanto a transformada de Laplace como de Fourier podem ser usadas para derivar a função da transmissibilidade para a resposta de aceleração, as expressões;

$$\left| \frac{\ddot{z}}{z} \right| = \sqrt{\frac{1 + (2\xi\rho)^2}{(1 - \rho^2)^2 + (2\xi\rho^2)^2}} \quad (3.4.6.9)$$

onde, $\rho = \frac{f}{f_n}$

Onde **f** é a frequência de vibração da base e **f_n** é frequência natural do sistema ou da massa, Thomson (1973).

3.5. MEDIÇÕES DE TEMPERATURA COM TERMOPARES

Os termopares do tipo T, de cobre e constantã com faixa de utilização de -200 a 370 ° C, com exatidão de 0,5 ° C acima de -150 ° C e resolução de 0,1 ° C, são muito utilizados em experiências e pesquisas, devido a facilidade de manuseio e o baixo custo é o modelo indicado para esta aplicação, Doebelin (1975).

3.6. ACELERÔMETROS

Os acelerômetros são dispositivos capazes de medir choques, vibrações, deslocamentos, velocidade, aceleração, inclinação, etc, de um corpo. Os acelerômetros estão disponíveis em uma variedade muito grande de tipos, para as mais diversas necessidades de aplicações. As bases para esta versatilidade são as seguintes: a resposta de frequência é de zero até um valor limite alto; o deslocamento e velocidade podem ser facilmente obtidos pela integração elétrica, que é a mais usada do que a diferenciação; a

medição de movimentos transientes (choque) é realizada mais rapidamente do que utilizado com suporte sensor de velocidade ou deslocamento; forças destrutivas em máquinas estão mais relacionadas com a aceleração do que com a velocidade ou deslocamento.

A maioria dos acelerômetros pode ser classificada em dois tipos, de deflexão e de balanço zero. Aqueles usados para medições de choques e vibrações são, geralmente, do tipo de deflexão, enquanto que as medições de movimentos de grandes veículos como submarinos, aviões e aeronaves, podem ser do tipo de balanço zero, onde uma maior precisão é necessária.

Um grande número de acelerômetros, do tipo de deflexão, tem a configuração apresentada na Figura 3.6.1 diferindo somente em alguns detalhes como a mola, o transdutor de movimento relativo e o tipo de amortecimento.

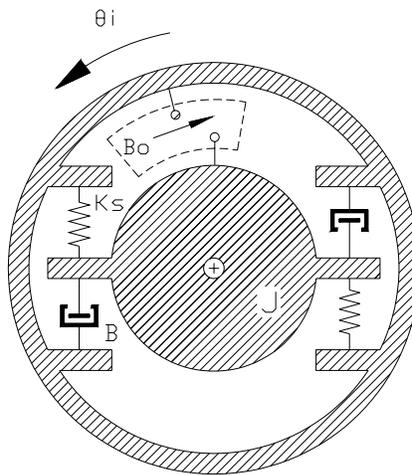


Figura 3.6.1. Configuração básica do acelerômetro.

Os acelerômetros baseiam-se em dois princípios muito conhecidos da física, a Lei de Hook e a Segunda Lei do Movimento de Newton.

Os acelerômetros **piezelétricos** são muito usados para medições de choques e vibrações, porém não são indicados para situações onde as acelerações são constantes, devido às características dos transdutores piezelétricos, entretanto, com voltagem de saída bastante grande e frequência natural elevada (mais alta do que qualquer outro tipo) aspectos necessários para medições precisas de choques e colisões (Doebelin 1975).

Acelerômetro Teoria de Operação.

Os acelerômetros a serem utilizados nesta pesquisa são do tipo de balanço zero. Um disco central fixado no eixo de vibração é ajustado entre dois discos fixos, formando assim um divisor capacitivo Figura 3.6.2 A. Sem aceleração, as duas capacitâncias são aproximadamente iguais a zero, conseqüentemente o disco central terá também uma tensão elétrica próxima de zero volt. Quando uma aceleração provocar um deslocamento no eixo de vibração, e o disco central se aproximar de um dos discos fixos, resultando num aumento na ligação capacitiva com o disco fixo mais próximo, será possível a obtenção de tensão elétrica no disco central Figura 3.6.2 B (Catalog Summit Instruments, 2003). Product Catalog Edition 2.2, January 2004.

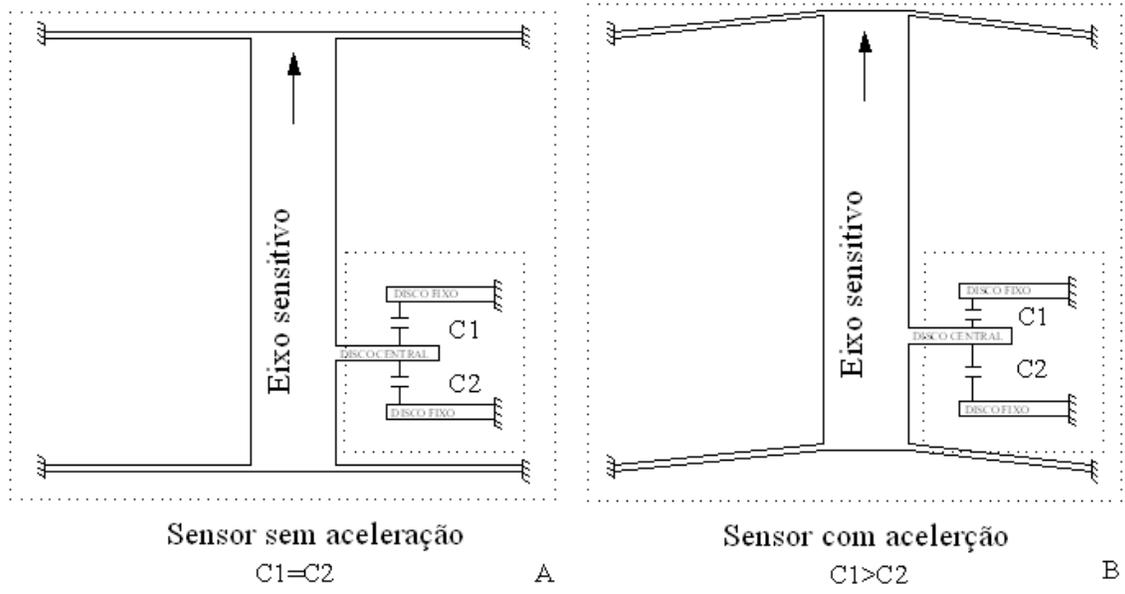


Figura 3.6.2. Posição A sensor em repouso, posição B sensor com excitação na base.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. INTRODUÇÃO

A safra de verão do figo da região de Valinhos estado de São Paulo inicia-se em meados de novembro e vai até março. Foi escolhida a safra de verão para este estudo, pois as condições climáticas são favoráveis e a produção é mais expressiva, reunindo as condições necessárias para os desafios tecnológicos dos pós-colheita.

4.2. LOCAL

A preparação do ensaio e dos equipamentos foi realizada no Laboratório de Propriedades Mecânicas de Materiais Biológicos da FEAGRI – UNICAMP. As instalações dos equipamentos, e instrumentos no caminhão de transporte foram realizadas na propriedade de produção de figos da Família Fabiano no Bairro do Macuco em Valinhos Estado de São Paulo.

4.3. MATERIAL

4.3.1. FIGOS

Foram utilizados figos da variedade ‘Roxo de Valinhos’, em estágio maduro (figo de mesa), com peso entre 70 a 90 g, colhidos pela manhã, do dia 20 de janeiro de 2003. Os figos apresentavam aspecto saudável, de coloração verde amarronzada, sem injúrias e boa firmeza, Figura 4.3.1.1. Figos foram acondicionados em engradados de madeira, contendo três bandejas de papelão ondulado.



Figura 4.3.1.1. Figos da variedade Roxo de Valinhos utilizados no experimento.

4.3.2. TRANSPORTE

No transporte de figos utilizou-se um caminhão (Mercedes Benz 1998, modelo 914 C eletrônico) equipado com sistema de suspensão na dianteira e na traseira (feixe de molas de aço semi-elíptica, amortecedores telescópicos de dupla ação e barra estabilizadora) e carroçaria de madeira com tara de nove toneladas e carga de cinco toneladas, figura 4.3.2.1.



Figura 4.3.2.1. Vista lateral da carga do transporte de figos.

4.3.3. EMBALAGEM

Os figos foram acondicionados em bandejas de papelão de 100 x 250 x 30 mm, e engradados de madeira com medidas de 270 x 380 x 80 mm, nas quais acomodam três bandejas de papelão, Figura 4.3.3.1.



Figura 4.3.3.1 Figos embalados em engradado de madeira contendo três bandejas de papelão.

4.3.4. MEDIÇÃO DE ACELERAÇÃO

Foram utilizados três acelerômetros triaxiais (Summit Instruments tipo 34200A), Figura 4.3.4.1, com limite de medição de 30 g, sendo $g = 9,8 \text{ m s}^{-2}$, condicionador de sinal Spider 8 (HBM de oito canais) e computador laptop para armazenar dados, Figura 4.3.4.2.



Figura 4.3.4.1. Acelerômetro triaxial e vista frontal do Spider 8.



Figura 4.3.4.2. Instrumentos de medição.

1. Computador Laptop.

2. Spider 8, receptor e conversor de sinais.
3. Acelerômetro triaxial.
4. Bateria.

4.3.5. MEDIÇÃO DE TEMPERATURA

A temperatura da polpa foi medida utilizando-se termopares tipo cobre constantã, com faixa de medição entre -190°C e 370°C , os sinais medidos foram armazenados no registrador de temperatura, modelo 92000-00 (Cole-Parmer Instrument Company), com doze canais de medição. Fios de compensação foram utilizados para as conexões dos termopares no registrador, (Figura 4.3.5.1). Os instrumentos foram alimentados através de duas baterias de 12 Vcc, com autonomia para o tempo de percurso.



Figura 4.3.5.1. Registrador de temperatura e termopares.

4.3.6. ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Os ensaios de laboratório foram realizados no CENTRO DE TECNOLOGIA DA UNICAMP, e foram utilizados os seguintes equipamentos: Acelerômetro de controle (B & K tipo 4343) para verificação das acelerações, certificado de calibração n. 9909-001 –

Tecmetro; Amplificador de carga (B & K tipo 2626), certificado de calibração n. 9909-001 Tecmetro; Atuador servo hidráulico (Schenck 25K) controlado por deslocamento (Figura 4.3.6.1); Controlador servo hidráulico Schenck analógico; Osciloscópio Digital (Hitachi VC 6065) para monitoramento da amplitude e frequência de excitação; Gerador de funções (Goldstar modelo FG 8002).



Figura 4.3.6.1 Atuador servo-hidráulico com arranjo dos engradados para excitação dos figos, o engradado vazio inferior foi utilizado como suporte.

4.4. METODOLOGIA

4.4.1. ACONDICIONAMENTO DOS FIGOS

Os figos foram colhidos pela manhã em diversos pomares, transportados em cestas de bambú até os galpões de seleção, onde foram classificados e embalados. Três embalagens contendo oito figos em cada uma foram colocadas em engradado de madeira, figura 4.4.1.1. O caminhão utilizado no transporte percorreu os diversos galpões da propriedade recolhendo os engradados de madeira que foram empilhadas na carroçaria do caminhão formando pilhas de engradados, Figura 4.4.1.2.



Figura 4.4.1.1. Aparência dos figos utilizados no experimento.



Figura 4.4.1.2. Carregamento parcial durante o recolhimento dos engradados nos galpões de diversas propriedades.

4.4.2. MEDIDAS DE ACELERAÇÃO

Para se medir as acelerações durante o transporte, três acelerômetros foram afixados, através de parafusos, na parte inferior da bandeja, em substituição a um dos fijos, e colocados nas partes centrais de cada um dos engradados (Figura 4.4.2.1).



Figura 4.4.2.1 Engradado com as bandejas e a posição do acelerômetro na bandeja central.

Os três engradados de madeira com os acelerômetros foram colocados na parte central da carroçaria na direção do eixo longitudinal,. No primeiro percurso as localizações dos três engradados contendo os acelerômetros foram no topo (1) e base (2) da pilha traseira e na base (3) de uma pilha intermediária,. Devido à carga não completar toda a extensão traseira da carroçaria, estes engradados com ficaram localizados 1200 mm da extremidade traseira, (Figura 4.4.2.2).

As conexões elétricas entre os acelerômetros posicionados na carroçaria e o Spider 8 na cabine foram feitas através de cabos blindados e conectores. Foram registrados os sinais dos acelerômetros no eixo vertical e somente para o acelerômetro da traseira e no topo da carga, os sinais do eixo transversal.

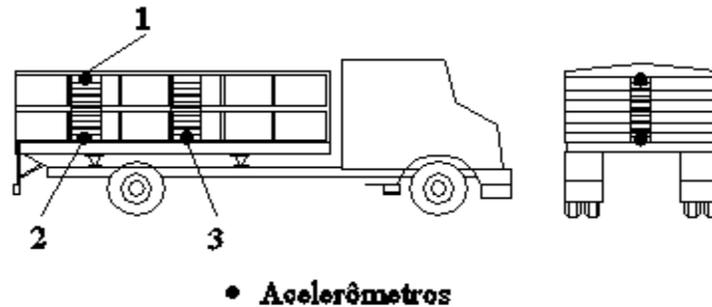


Figura 4.4.2.2. Localização dos três engradados com acelerômetros (1, 2 e 3) utilizados nas medidas durante o primeiro percurso.

4.4.3. AQUISIÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

As medidas de aceleração foram realizadas no dia 20 de janeiro de 2003, partindo do galpão de expedição do sítio em Valinhos S. P., com destino ao CEAGESP na cidade de São Paulo. Iniciaram-se as medições as 13:14 h, e o caminhão trafegou em pista pavimentada numa velocidade média de 90 quilômetros por hora. As seis primeiras medições foram realizadas com um tempo de aquisição de 10 segundos e intervalos de uma medição para outra de 50 segundos. Para as demais medições, o tempo de aquisição foi de 10 segundos e os intervalos entre medições de 5 segundos. Desta forma, foram armazenados durante o trajeto 145 registros de aceleração. Os sinais foram primeiramente analisados para remoção de erros de deslocamentos (DC off-set) provocados pelos instrumentos. Para identificar as frequências dominantes no percurso os sinais serão analisados através da transformada de Fourier. Para a identificação das frequências serão calculados os valores de PSD dos sinais de aceleração, através da janela retangular indicada

para sinais não estacionários. Para isto será utilizado o Software Matlab R12 versão 6.0. Os resultados foram colocados em forma de gráficos para identificação das frequências dominantes.

4.4.4. MEDIÇÃO DE TEMPERATURA

As variações de temperaturas na polpa do fruto durante o trajeto, foram registradas através de doze termopares, inseridos nos figos, dentro das bandejas (Figura 4.4.1.1), e seus fios de compensação foram conectados ao receptor (Scanner) de doze entradas, para registro e armazenamento dos sinais. Os engradados com os termopares foram localizados nas laterais da carroçaria, sendo que seis no piso e seis no topo da carga, (Figura 4.4.4.2).



Figura 4.4.4.1 Termopares inseridos nos figos.

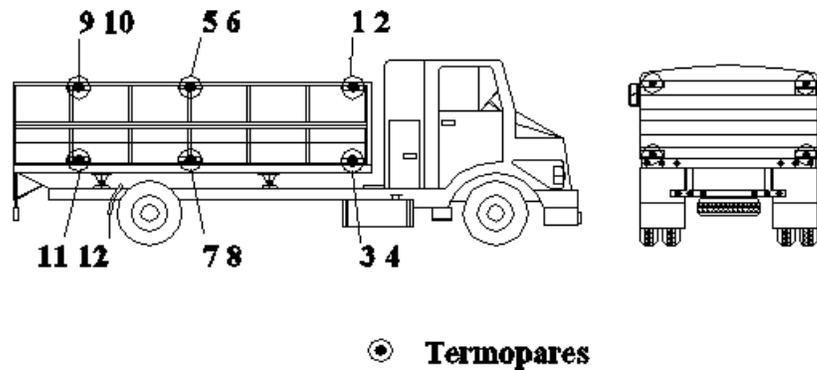


Figura 4.4.4.2. Localização dos engradados com os termopares na carroçaria.

Os valores de temperatura, que serão medidos durante o trajeto, ficarão armazenados na memória do receptor, e posteriormente serão transferidos para planilha de cálculo.

4.4.5. ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Para os ensaios de laboratório, serão utilizadas as frequências de maior número de ocorrência medidas no transporte. A aceleração e o tempo de exposição no ensaio, serão determinados num primeiro ensaio. Para isto será utilizado um atuador servo hidráulico. Sobre a base do atuador será afixado um engradado para transporte de figos, aparafusado na parte inferior à base. Encima deste será amarrado outro engradado, com fitas de nylon para formar um conjunto rígido, onde serão colocadas as gavetas, (Figura 4.4.5.1).



Figura 4.4.5.1 Detalhe da montagem dos engradados no sobre o atuador hidráulico.

O tempo de exposição e a aceleração serão determinados através de um ensaio inicial, onde no engradado de cima serão colocados duas bandejas com sacos de areia nas extremidades do engradado, e no centro será colocados uma bandeja com oito figos de tamanho médio. Os sacos de areia terão pesos equivalentes à dos figos. Os figos serão vibrados nas frequências dominantes para conhecer a quantidade de danos que elas produzem. A aceleração será estabelecida em 0,5 G, e depois terá valores crescente, em 0,6, 07, 08, 0,9 G até que se produzam danos aos figos. O tempo inicial será de 5 minutos, e não havendo injúrias serão acrescentados 5 minutos até um tempo máximo de 30 minutos de exposição.

Após a identificação do tempo de exposição e do valor da aceleração, o produto será submetido ao ensaio de vibração nas frequências dominantes, a fim de determinar a suscetibilidade do produto nas frequências. Para isto será utilizado o atuados servo hidráulico e figos de tamanho médio. Os figos que participarão do ensaio serão inicialmente

identificados e anotadas as possíveis injúrias provenientes do beneficiamento, colocados em bandejas numeradas, figura 4.4.5.2. As regiões do figo onde possivelmente poderão apresentar danos por abrasão, são as regiões de contato entre os figos e no contato dos figos com as superfícies da embalagem. Portanto, nestas regiões serão observados os danos provocados por vibração.

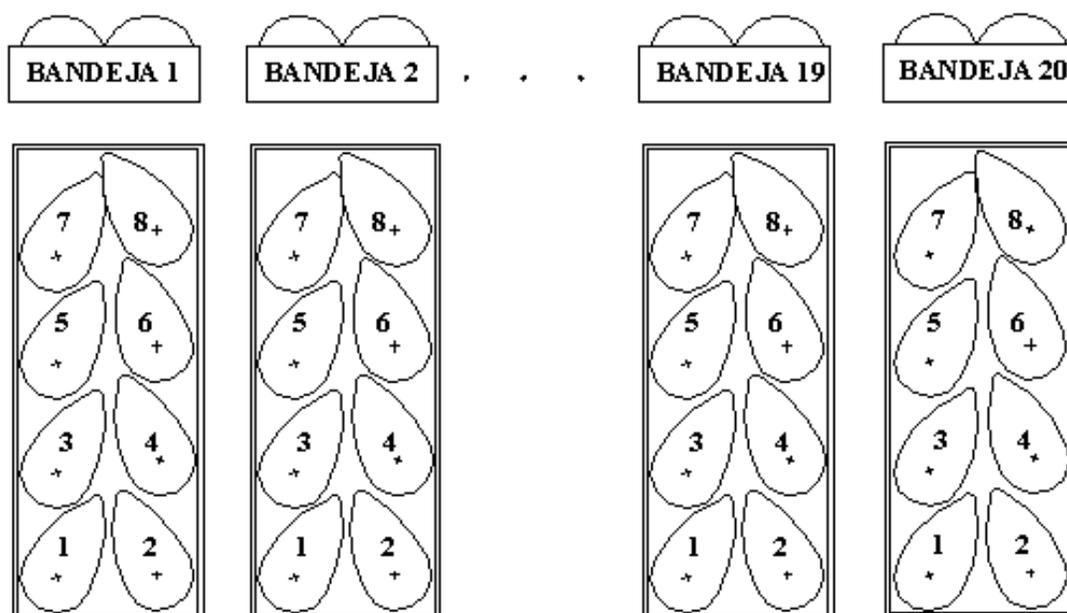


Figura 4.4.5.2 Identificação das bandejas e dos figos.

Os ensaios de vibração nas frequências dominantes serão realizados em 10 repetições para cada uma das frequências, as bandejas numeradas com figos foram sorteadas aleatoriamente através do MS Excel em análise de dados, amostragem aleatória, (tabela 4.4.5.3). No ensaio 1 serão vibradas as duas bandejas (20 e 11) no tempo de 10 minutos e na frequência de 2 Hertz, e também as bandejas (2 e 10) no tempo de 10 minutos e na frequência de 13 Hertz, e assim sucessivamente até que se completem os cinco ensaios, (tabela 4.5.3).

Tabela 4.4.5.1 Procedimento para vibração aleatória das bandejas.

Ensaio	1	2	3	4	5
Tempo (min)	5	10	15	20	25
Bandejas	20	5	4	7	1
	11	16	14	6	17
Frequência 1	2 Hz				
Bandejas	2	9	13	12	8
	10	15	19	18	3
Frequência 2	13 Hz				

Após a realização dos ensaios os figos serão observados visualmente e classificados quanto à presença de injúrias, (tabela 4.4.5.4). Estas notas serão para cada figo, (tabela 4.4.5.5).

Tabela 4.4.5.2 Descrição dos danos e notas por ocorrência.

Nível	Descrição	Nota
1	Marca de contato leve	1
2	Marca de contato	2
3	Marca de contato umedecido	4
4	Remoção da pele no contato	8
5	Remoção da pele no contato com amassamento profundo	16

Após a avaliação e classificação dos danos de cada fruto, estas foram comparadas com a tabela 4.4.5.6, e determinadas as suas classes de qualidade. Os figos na categoria ruim ou péssimo foram considerados como refugos para o padrão comercial.

Tabela 4.4.5.3 Notas de avaliação dos figos.

Figo	1.1					1.2				
Contato	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Peso										
Nota										
Figo	1.3					1.4				
Contato	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Peso										
Nota										
Figo	1.5					1.6				
Contato	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Peso										
Nota										
Figo	1.7					1.8				
Contato	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Peso										
Nota										

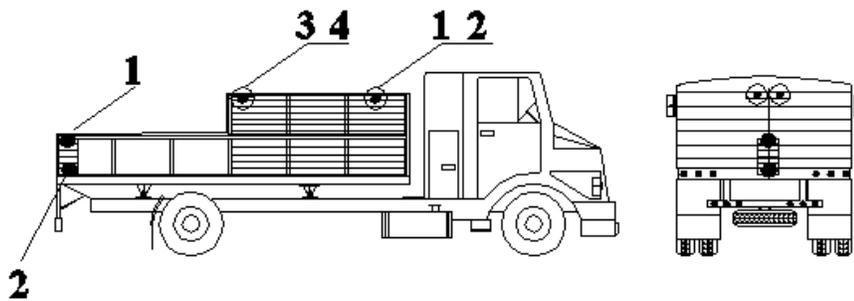
Tabela 4.4.5.4 Categoria para os figos.

Nota	Descrição	Categoria
0 – 1	Sem danos	Excelente
2 – 3	Danos leves	Boa
4 – 7	Danos moderados	Regular
8 – 15	Danos severos	Ruim
16 – 31	Danos extremos	Péssimo

Desta forma, serão comparados os valores de danos produzidos em cada frequência e tempo, quantificando-se a suscetibilidade dos figos nestas frequências, identificando qual delas produz mais danos nos figos.

4.4.6. MEDIÇÕES DO DIA 16.12.2003

Uma segunda medição de aceleração em trânsito foi realizada no dia 16 de dezembro de 2003. Todos os instrumentos e procedimentos utilizados para a medição foram os mesmos do dia 30 de janeiro de 2003. O caminhão neste dia teve apenas uma diferença daquele do dia 20.01.2003, o sistema de suspensão composto por molas de aço para suportar uma carga de até 5,5 toneladas. Para medir as acelerações na direção vertical foram utilizados somente dois acelerômetros localizados na parte traseira da carroçaria, um no piso de uma pilha de seis engradados de figos, e outro no seu topo. A pilha de engradados foi amarrada junto à guarda traseira da carroçaria, (Figura 4.4.6.1). A medição de temperatura foi realizada com quatro termopares, todos eles foram colocados na camada superior da carga, sendo dois na parte da frente e dois no meio da carga, (Figura 4.4.6.1). As pontas de medição foram inseridas na polpa dos figos, e fixados nas bandejas através de fita colante.



- ⊙ **Termopares**
- **Acelerômetros**

Figura 4.4.6.1. Localização dos dois engradados com acelerômetros (1 e 2) e dos dois engradados com termopares (1, 2, 3 e 4) utilizados nas medições de segundo percurso.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. INTRODUÇÃO

A primeira das medições de acelerações e temperatura foram realizadas no dia 20 de janeiro de 2003. O caminhão durante a sua rotina diária de coleta de figos entre os pomares, foi instrumentado com os equipamentos necessários para as medições. Com isto pretendeu-se não interferir na rotina da coleta e distribuição. Durante a instrumentação houve dificuldades para a instalação dos termopares, assim que o caminhão recolhia os engradados nos pomares foram inseridos os termopares nos figos e os cabos direcionados para o topo da carga, atrasando a coleta.

5.2. ANÁLISE DE SINAIS

5.2.1. INTRODUÇÃO

No início do transporte os instrumentos não estavam todos ligados, os dados de aceleração foram registrados somente quando o caminhão trafegava na rodovia Anhanguera. Foram armazenados 145 registros de aceleração durante o transporte e cinco deles escolhidos para uma análise estatística inicial. Pretendeu-se com a análise destes dados que correspondem a cada 10 minutos do percurso, conhecer as variações das acelerações e das frequências presentes nos dados. Sinais característicos do acelerômetro 1 localizado na traseira e no topo da carga, Acelerômetro 2 localizado na traseira e sobre o piso da carroçaria e o Acelerômetro 3 localizado no meio e sobre o piso da carroçaria, são mostrados no gráfico da (Figura 5.2.2.1). Estes sinais já estão corrigidos do deslocamento (DC off-set).

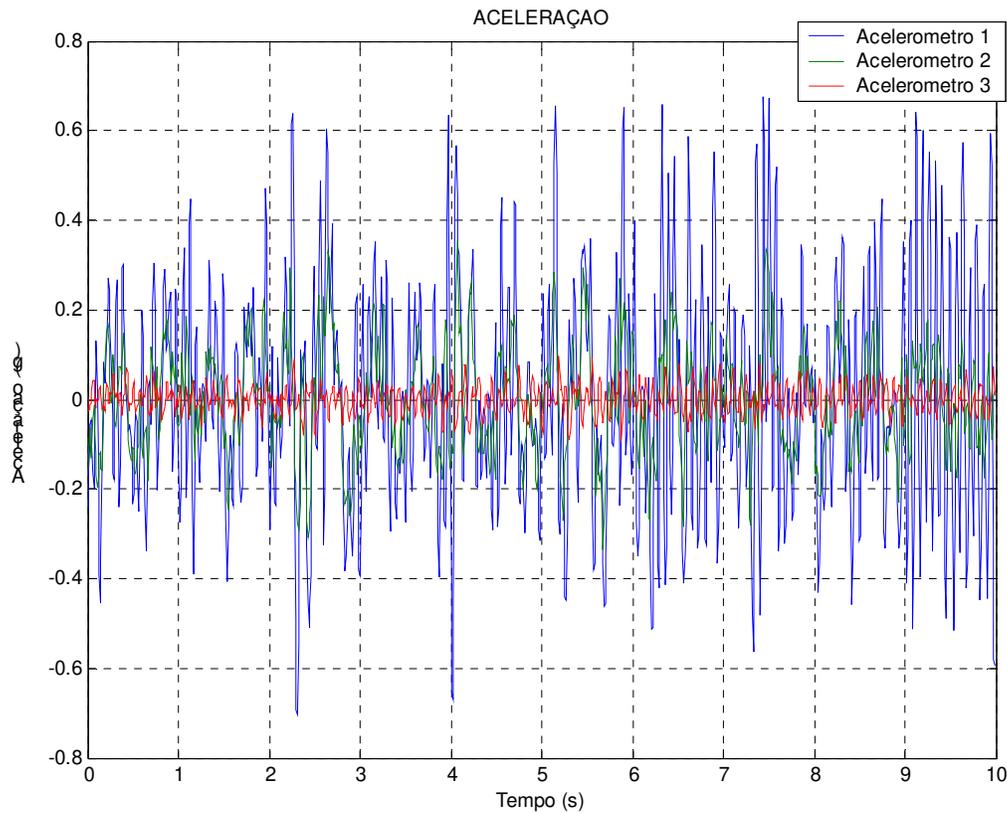


Figura 5.2.1.1. Sinais característicos de aceleração em três localizações do caminhão.

5.2.2. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Após a remoção do DC off-set dos sinais dos cinco arquivos eles foram submetidos à análise estatística, nesta análise foram considerados os valores de máximos, mínimos, a média, o desvio padrão, o G_{RMS} . Estes valores são apresentados nas Tabelas 5.2.2.1 a 5.2.2.5. Todos os sinais foram coletados em intervalos de aquisição de 10 segundos a uma taxa de aquisição de 100 Hz, portanto 1000 pontos por registro.

Tabela 5.2.2.1. Estatística dos sinais do registro 1.

Parâmetros	Valores		
	Acelerômetro 1	Acelerômetro 2	Acelerômetro 3
Sinais			
Média (g)	0	0	0
Desvio padrão (g)	0,2438	0,1202	0,03129
G _{RMS}	0,2438	0,1202	0,03129
Máximo (g)	0,6765	0,3544	0,09657
Mínimo (g)	- 0,7017	- 0,3352	- 0,09457

Tabela 5.2.2.2. Estatística dos sinais do registro 2.

Parâmetros	Valores		
	Acelerômetro 1	Acelerômetro 2	Acelerômetro 3
Sinais			
Média (g)	0	0	0
Desvio padrão (g)	0,2879	0,14	0,02533
G _{RMS}	0,2879	0,14	0,02533
Máximo (g)	1,294	0,4858	0,1309
Mínimo (g)	- 0,7888	- 0,4387	- 0,0887

Tabela 5.2.2.3 Estatística dos sinais do registro 3.

Parâmetros	Valores		
	Acelerômetro 1	Acelerômetro 2	Acelerômetro 3
Sinais			
Média (g)	0	0	0
Desvio padrão (g)	0,2684	0,1188	0,03133
G _{RMS}	0,2684	0,1188	0,03133
Máximo (g)	0,9306	0,4991	0,1383
Mínimo (g)	- 0,9238	- 0,4322	- 0,1168

Tabela 5.2.2.4. Estatística dos sinais do registro 4.

Parâmetros	Valores		
Sinais	Acelerômetro 1	Acelerômetro 2	Acelerômetro 3
Média (g)	0	0	0
Desvio padrão (g)	0,1774	0,09878	0,03814
G _{RMS}	0,1774	0,09878	0,03814
Máximo (g)	0,6317	0,4813	0,09567
Mínimo (g)	- 0,5422	- 0,371	- 0,1128

Tabela 5.2.2.5. Estatística dos sinais do registro 5.

Parâmetros	Valores		
Sinais	Acelerômetro 1	Acelerômetro 2	Acelerômetro 3
Média (g)	0	0	0
Desvio padrão (g)	0,1263	0,1077	0,04147
G _{RMS}	0,1263	0,1077	0,04147
Máximo (g)	0,5616	0,5235	0,1642
Mínimo (g)	- 0,4221	- 0,364	- 0,1046

Podemos observar nas tabelas acima mostrando os resultados da análise estatística, que as acelerações medidas no topo da carga, apresentaram amplitudes maiores, e que as acelerações do piso e no meio da carroçaria foram as menores amplitudes. A variação dos valores máximos de aceleração na traseira e no topo da carga, para as cinco amostragens foi de 0,56 G a 1,29 G, e a aceleração média de 0,81 G. A variação dos mínimos foi de 0,92 G a 0,42 G com um valor médio de 0,67 G.

5.2.3. DENSIDADE ESPECTRAL DE POTÊNCIA (PSD)

O objetivo principal da análise de frequência é a determinação das harmônicas (amplitude, frequência e fase). Desta forma é possível saber quais são as frequências mais importantes que estão presentes no sinal analisado. Para identificar as frequências que

predominam durante o transporte do figo, foi utilizada a transformada de Fourier. Os níveis dos PSD's (G^2/Hz) são mostrados pelos gráficos das figuras 5.2.3.1, 5.2.3.2, 5.2.3.3, 5.2.3.4, 5.2.3.5.

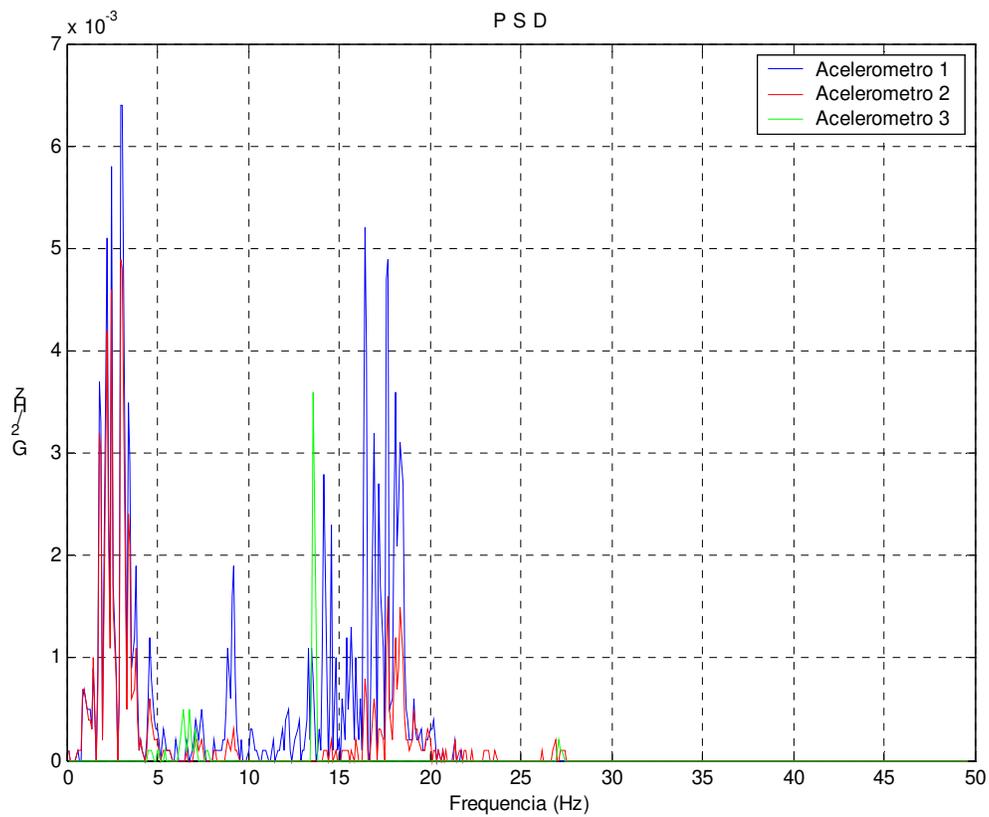


Figura 5.2.3.1.Densidade Espectral de Potência (PSD) relativos aos sinais dos acelerômetros 1, 2 e 3. Registro 1

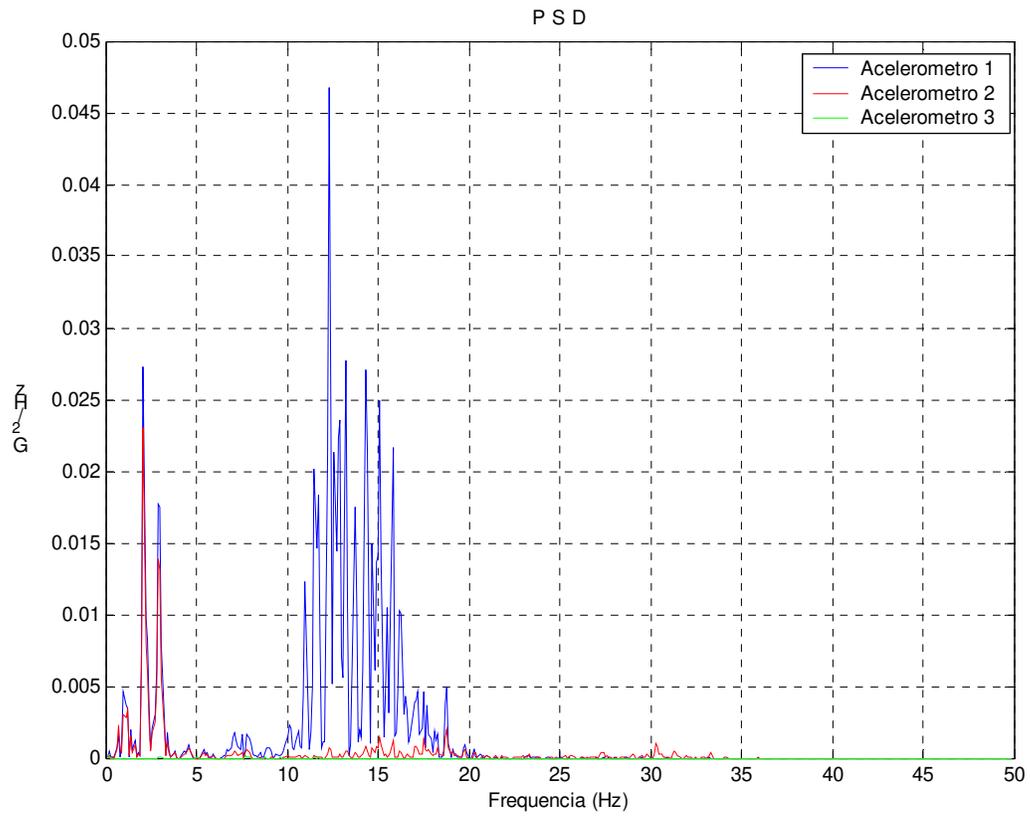


Figura 5.2.3.2. Densidade Espectral de Potência (PSD) relativos aos sinais dos acelerômetros 1, 2 e 3. Registro 2.

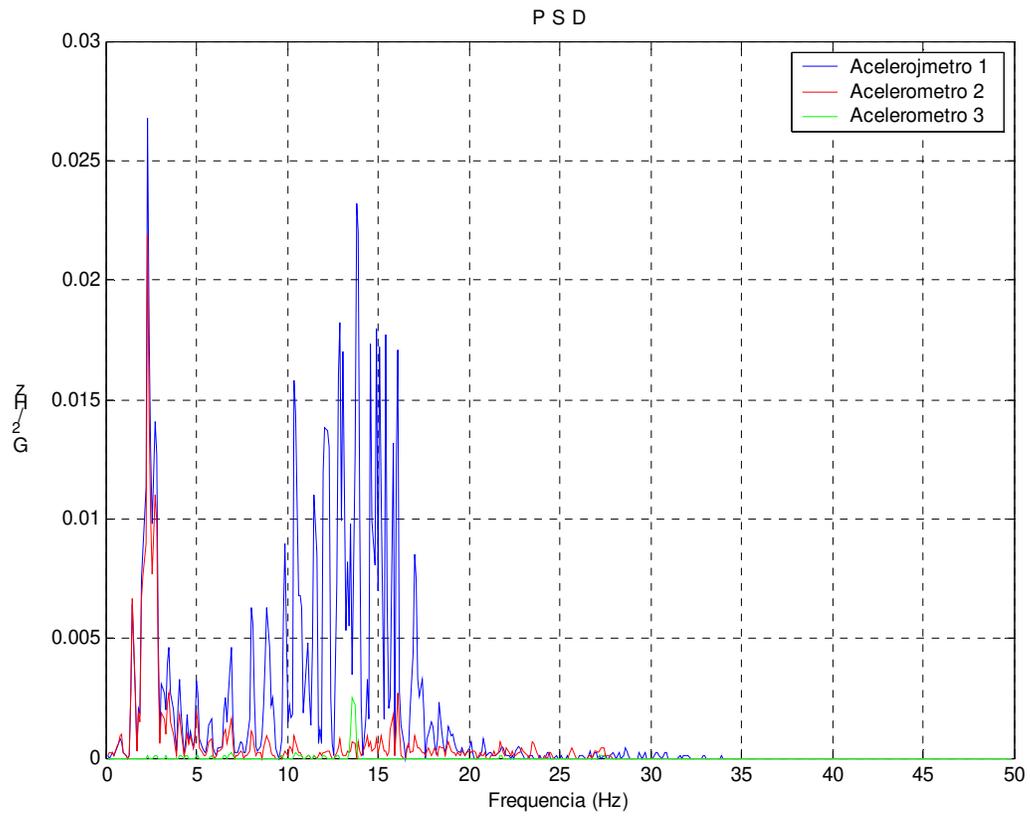


Figura 5.2.3.3. Densidade Espectral de Potência (PSD) relativos aos sinais dos acelerômetros 1, 2 e 3. Registro 3.

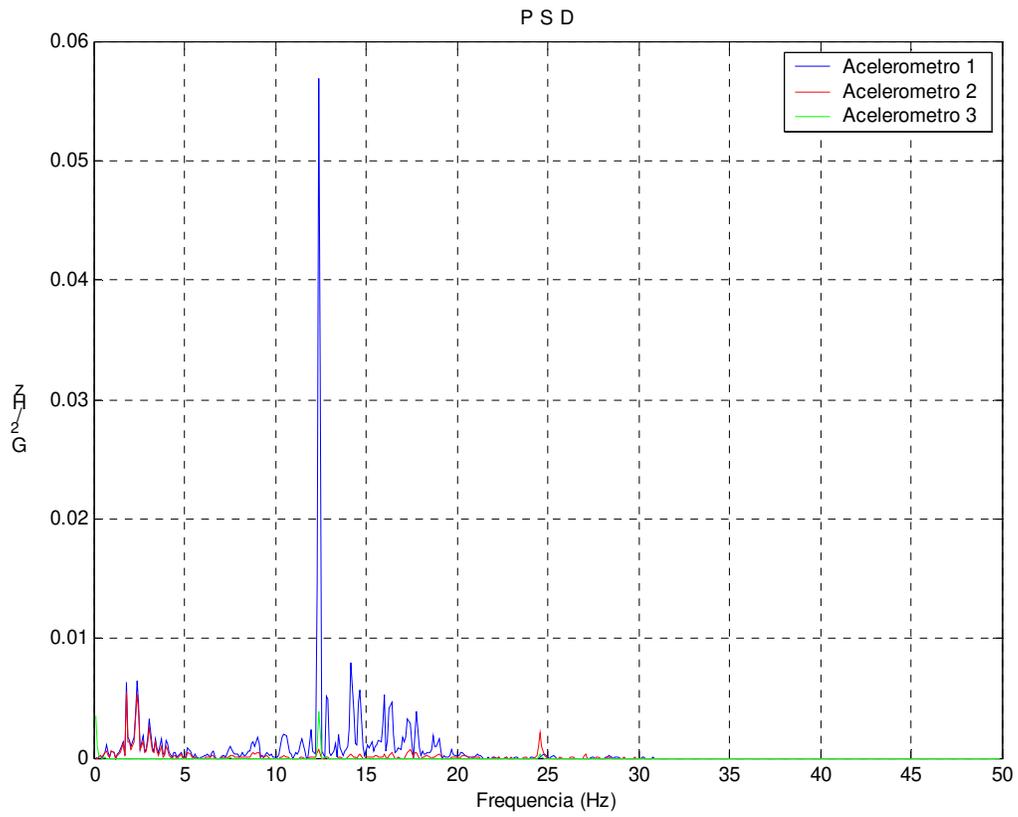


Figura 5.2.3.4. Densidade Espectral de Potência (PSD) relativos aos sinais dos acelerômetros 1, 2 e 3. Registro 4.

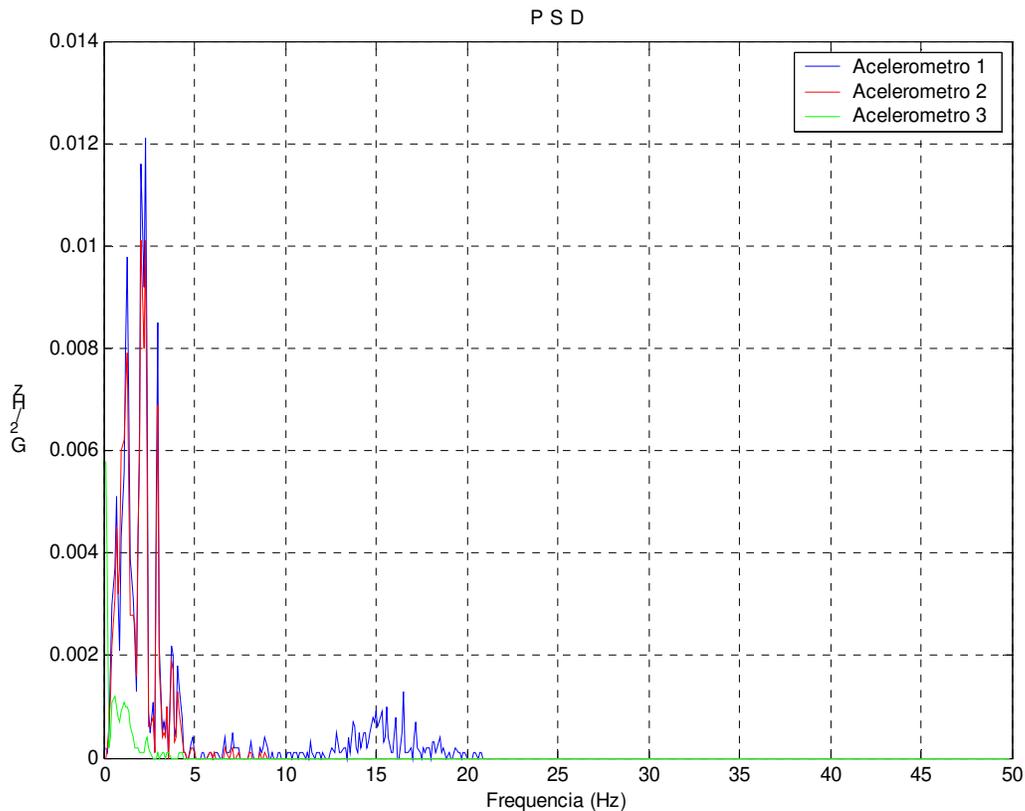


Figura 5.2.3.5. Densidade Espectral de Potência (PSD) relativos aos sinais dos acelerômetros 1, 2 e 3. Registro 5

Conforme podemos observar nos gráficos acima, houve predominância de frequências nas faixas de 0 até 5 Hz, e também nas faixas de 10 a 15 Hz.

O acelerômetro 1 montado na traseira e no topo da carga foi o que registrou os maiores níveis de PSD, e as frequências mais significativas ficaram de próximas de 2 Hz, aparecendo também amplitudes de PSD's elevadas em 12 e 14 Hz. Porém as frequências que predominaram na maioria dos registros ficaram próximas de 2 e 13 Hz.

O acelerômetro 2 montado na traseira e sobre o piso da carroçaria, as frequências com níveis altos de PSD's ficaram próximo de 2 Hz.

O acelerômetro 3, montado no meio e sobre o piso da carroçaria, registrou frequências com níveis mais baixos de PSD's na faixa de 10 a 15 Hz, predominando as frequências próximas de 13 Hz.

5.3. FREQUÊNCIAS NO PERCURSO DE 20.01.2003

Para identificar as frequências dominantes que ocorrem durante o transporte, foram calculados os valores de PSD de todos os registros dos três acelerômetros. A Tabela 5.3.1 apresenta os dez maiores níveis de PSD e suas respectivas frequências de um registro. De todos os arquivos foram retiradas de duas a quatro frequências com os maiores níveis de PSD's, (Tabela 5.3.1). Estas frequências foram empilhadas numa planilha representando assim os níveis máximos do PSD's dos 145 registros de um acelerômetro. As frequências foram contadas e colocadas noutra planilha que gerou o gráfico de ocorrência das frequências, Figura 5.3.1.

Tabela 5.3.1 Frequências com níveis máximos de PSD's.

Posição	Frequência (Hz)	PSD (G^2/Hz)
116	11.60	0.0449
117	11.70	0.0362
115	11.50	0.0143
155	15.50	0.0127
156	15.60	0.0106
162	16.20	0.0095
118	11.80	0.0088
151	15.10	0.0087
152	15.20	0.0085
131	13.10	0.0081

O gráfico da Figura 5.3.1 mostra a ocorrência das frequências das medições do acelerômetro 1, localizado na traseira e no topo da carga. Estas frequências têm os maiores níveis de PSD. As frequências próximas de 2 Hz que aparecem em 90 dos 145 arquivos, e as próximas de 13 Hz que aparecem em 82 dos 145 registros são as mais significativas. Os valores de máximo, mínimo e a média estão na tabela 5.3.2.

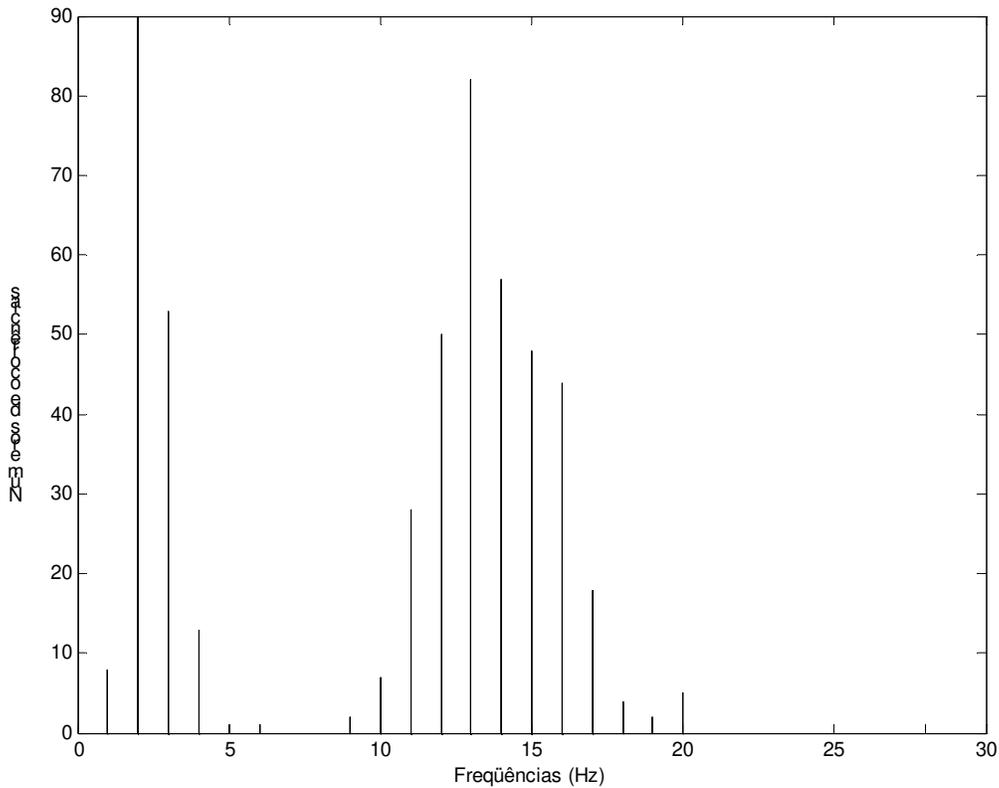


Figura 5.3.1 Frequências na traseira e no topo da carga, acelerômetro 1.

Tabela 5.3.2 Parâmetros estatísticos (PSD) do acelerômetro 1

Parâmetro	Valores
Maximo (G^2/Hz)	0.13564
Mínimo (G^2/Hz)	0.00001
Media (G^2/Hz)	0.01733

O gráfico da figura 5.3.2 mostra as ocorrências das frequências das medições do acelerômetro 2, localizado na traseira e no piso da carga. Estas frequências têm os maiores níveis de PSD. Os valores de máximo, mínimo e a média estão na tabela 5.3.3.

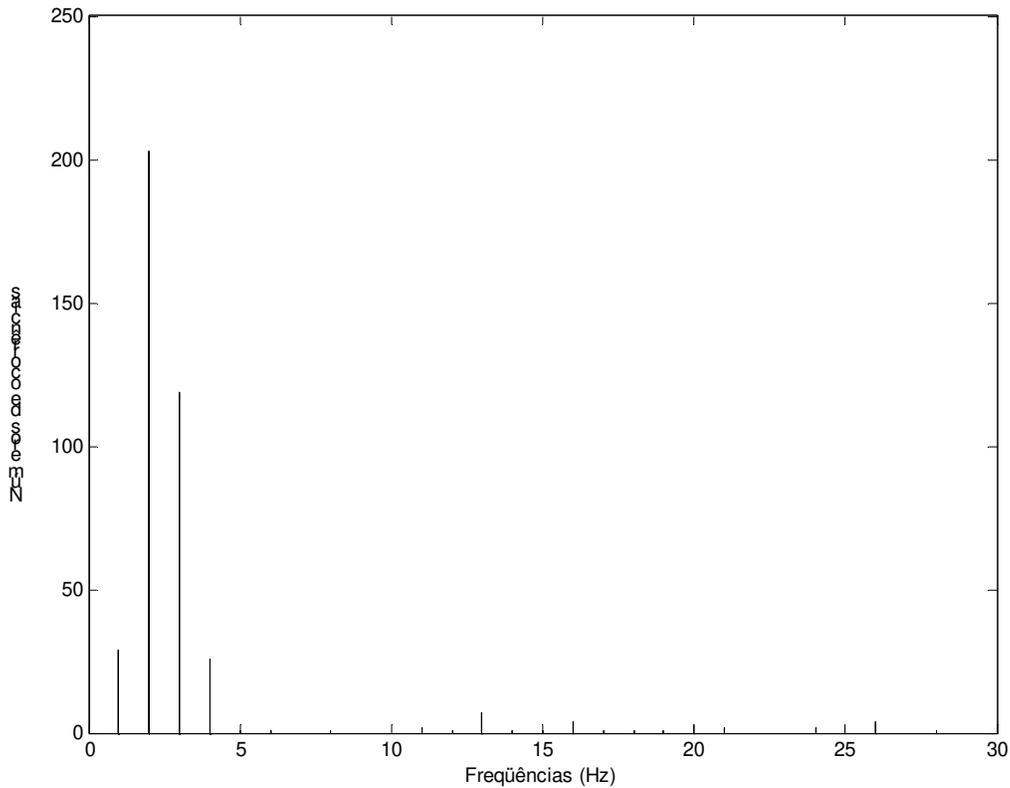


Figura 5.3.2 Frequências na traseira e no piso da carga, acelerômetro 2.

Tabela 5.3.3 Parâmetros estatísticos (PSD) do acelerômetro 2

Parâmetro	Valores
Máximo (G^2/Hz)	0.1108
Mínimo (G^2/Hz)	0.0000
Média (G^2/Hz)	0.0074

O gráfico da figura 5.3.3 mostra as ocorrências das frequências das medições do acelerômetro 1, localizado no meio e no piso da carga. Estas frequências têm os maiores níveis de PSD. O gráfico é o produto da análise, através da transformada de Fourier dos 145 arquivos de aceleração do meio da carga, onde foram considerados as frequências com os maiores níveis de PSD's. Os valores de máximo, mínimo e a medias do PSD estão na tabela 5.3.4.

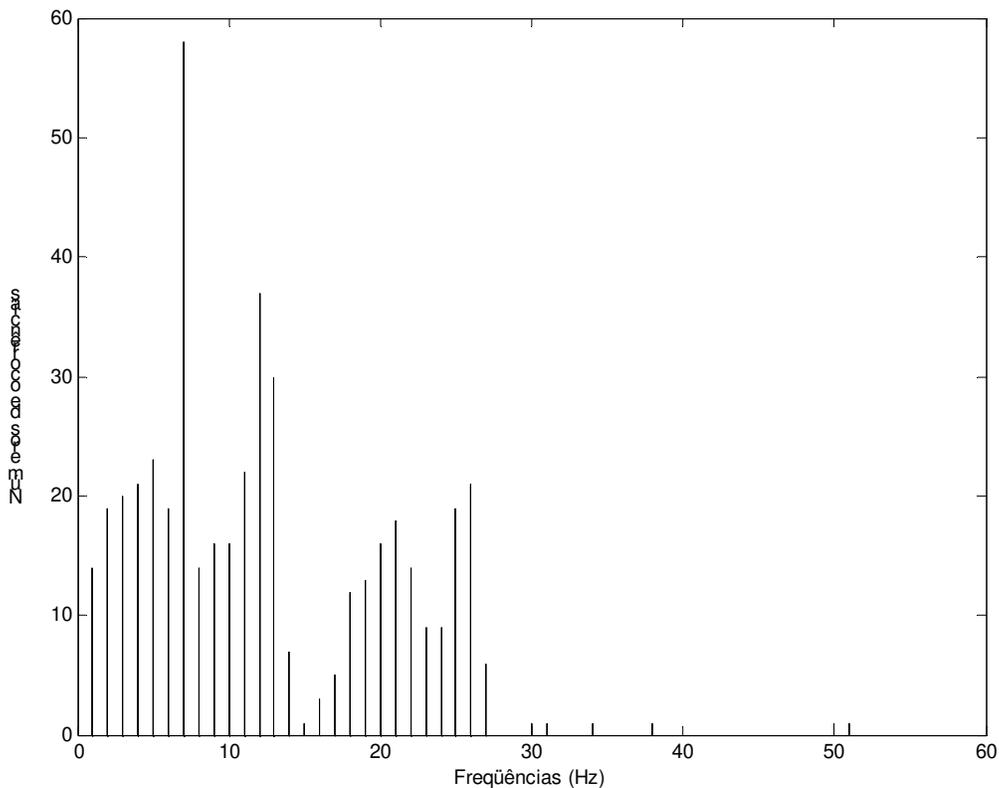


Figura 5.3.3 Frequências no meio e no piso da carga, acelerômetro 3.

Tabela 5.3.4 Parâmetros estatísticos (PSD) do acelerômetro 3

Parâmetro	Valores
Máximo (G^2/Hz)	0.004521
Mínimo (G^2/Hz)	0.000004
Média (G^2/Hz)	0.000295

5.4. FREQUÊNCIAS NO PERCURSO REALIZADO EM 16.12.2003

No dia 16 de dezembro de 2003 foi realizada a segunda medição em transito. A propriedade de produção de figos em Valinhos S. P. é mesma onde foi realizada a primeira medição do dia 20 de janeiro de 2003. O caminhão partiu do galpão de expedição às 12:45 h e a chegada no CEAGESP em São Paulo foi às 13:45 h. Na medição deste dia, foram

utilizados somente dois acelerômetros, instalados na parte traseira da carroçaria, um no engradado do piso de uma pilha de seis engradados de figos e outro no engradado do topo da mesma pilha. A pilha de engradados foi amarrada junto à guarda traseira da carroçaria através de corda, e colocada uma cobertura de papelão como proteção na parte superior e frontal. A carga para o transporte neste dia não foi suficiente para completar o carregamento, portanto o caminhão partiu com somente a metade da carroçaria ocupada. Os acelerômetros foram posicionados para medir as acelerações na direção vertical, com taxa de aquisição de 400 Hz, durante dez segundos e com intervalos de 50 segundos. A cada minuto da viagem foi tomada uma leitura, gerando uma amostragem de 4000 pontos.

5.5. ANÁLISE DOS SINAIS DE ACELERAÇÃO DE 16.12.2003

Para a análise dos sinais foram utilizados os mesmos procedimentos da primeira medição para a identificação das frequências presentes nos sinais. Os sinais dos acelerômetros foram corrigidos dos deslocamentos da linha zero (erro de DC off-set). Após a remoção dos erros de deslocamentos, eles foram analisados através da transformada de Fourier para identificar as frequências dominantes e seus níveis de PSD's. Os PSD's dos 60 arquivos de cada acelerômetros foram calculados e armazenados numa planilha, na coluna 1 a linha de localização, na coluna 2 os dados de frequência em Hertz e na coluna 3 os valores de PSD (G^2/Hz). De todos os arquivos foram retiradas de duas a quatro frequências com os maiores níveis de PSD's. Estas frequências foram empilhadas numa planilha representando assim os níveis máximos de PSD dos 60 arquivos. As frequências foram contadas e colocadas noutra planilha. O gráfico da figura 5.5.1 mostra o número de ocorrências das frequências das medições do acelerômetro 1, na traseira e no topo da pilha de engradados. Os valores de máximo, mínimo e a média estão na tabela 5.5.1.

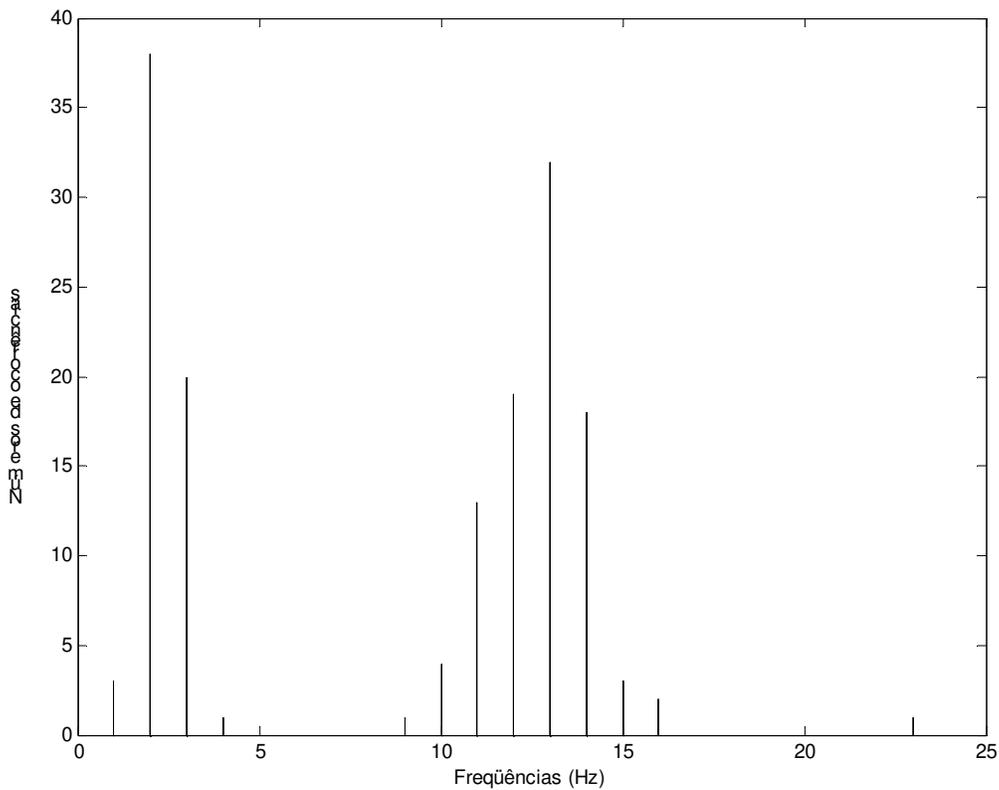


Figura 5.5.1 Acelerômetro 1 ocorrência das frequências.

Tabela 5.5.1 Parâmetros estatísticos de PSD do acelerômetro 1.

Parâmetro	Valores
Máximo (G^2/Hz)	0.2338
Mínimo (G^2/Hz)	0.0000
Média (G^2/Hz)	0.01960

O gráfico da figura 5.5.2 mostra a ocorrência das frequências das medições do acelerômetro 1, na traseira e no piso da pilha de engradados. Os valores de máximo, mínimo e a média estão na Tabela 5.5.2.

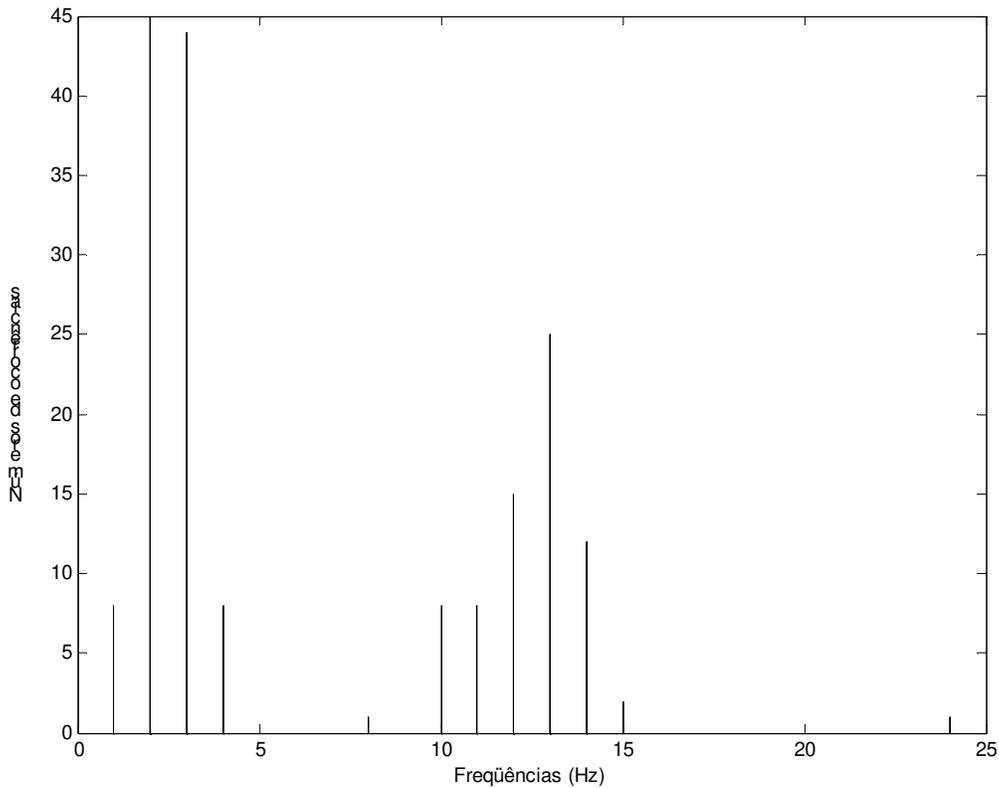


Figura 5.5.2 Acelerômetro 2 ocorrência das frequências.

Tabela 5.5.2 Parâmetros estatísticos de PSD do acelerômetro 2.

Parâmetro	Valores
Máximo (G^2/Hz)	0.1676
Mínimo (G^2/Hz)	0.0000
Média (G^2/Hz)	0.01016

Pode-se observar que, embora a altura da pilha de engradados foi menor, a ocorrência das frequências na traseira e topo da carga (Figura 5.5.1), coleta realizada em 16/12/2003, é a mesma daquela apresentada no gráfico da Figura 5.3.1, coleta de 20/01/2003, e os parâmetros estatísticos tiveram uma elevação no valor máximo. Na traseira e piso da carga, na coleta realizada em 16/12/2003, a ocorrência de frequências na faixa de zero a cinco Hertz se repetiram, predominando a frequência de 2 Hz, e na faixa de

10 a 15 Hz, com predominância da frequência de 13 Hz, o que não ocorreu na coleta em 20/01/2003.

5.6. MEDIÇÃO DA TEMPERATURA EM 20.01.2003

Neste dia, foi realizada a medição das variações de temperatura na polpa dos figos, durante o transporte. O início dos registros foi as 12:40 h, o caminhão partiu as 13:00 e o término as 13:55 h com a chegada no CEAGESP. Dos doze termopares instalados para a medição, somente os sinais de seis deles puderam ser aproveitados, os demais tiveram problemas de ligação. As leituras dos sinais foram tomadas a cada 10 segundos, portanto seis registros por minutos num total de 450 leituras. Gráfico da figura 5.6.1 mostra as variações da temperatura.

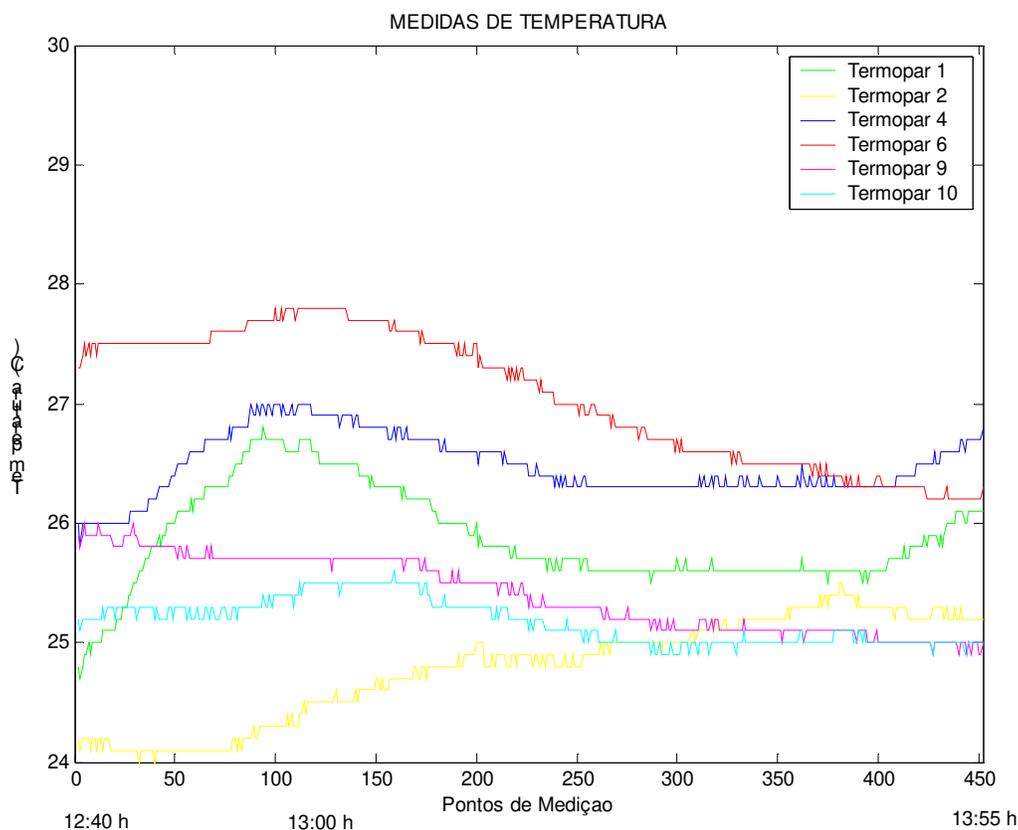


Figura 5.6.1 Variações da temperatura na polpa do figo medidas no dia 20.01.2003

Conforme podemos observar na figura acima a temperatura teve um pequeno aumento desde o começo dos registros até o início da viagem, durante a viagem teve uma leve diminuição e permaneceu estável até a chegada no CEAGESP.

5.7. MEDIÇÃO DA TEMPERATURA EM 16.12.2003

O registro de temperatura neste dia começou as 12:15 h logo após a ligação dos termopares, a carga estava parcialmente completa e os engradados onde estavam os termopares ficaram expostos ao sol durante 30 minutos. As leituras foram tomadas a cada minuto e com varredura do termopar um até o quatro. Desde o inicio das leituras até a partida do caminhão foram tomadas 30 minutos de leitura, e depois no percurso foram tomadas 60 leituras. O gráfico da Figura 5.6.1 mostra as variações de temperatura.

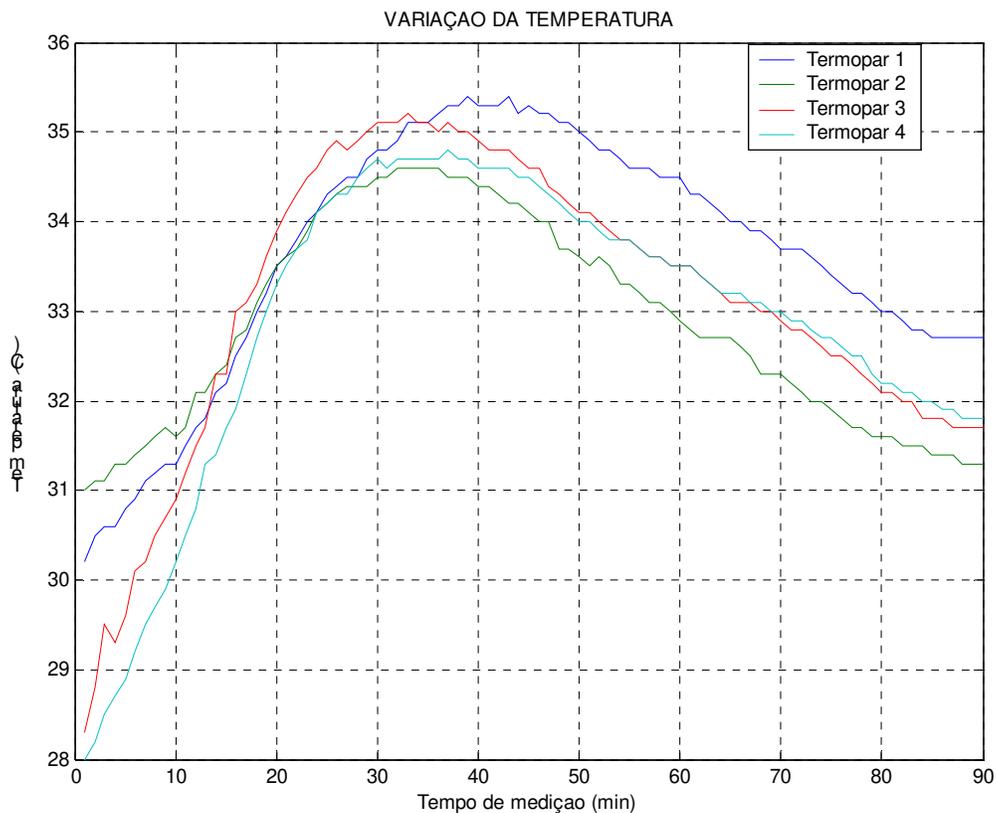


Figura 5.7.1 Variação da temperatura na polpa do figo medida no dia 16.12.2003

A temperatura aumentou durante os trinta minutos iniciais após a ligação, e atingiu a máxima em 35⁰ C, quando do início do percurso. Nas dez leituras seguintes ela permanece quase que constante, é o tempo que se levou até a chegada na rodovia Anhanguera e atingir a velocidade de cruzeiro. Depois houve uma diminuição até a chegada no CEAGESP onde permanece constante em 32⁰ C até o desligamento dos instrumentos.

5.8. ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Um experimento inicial foi realizado no dia 20 de janeiro de 2004 nas freqüências de 2 e 13 Hz a para definir o tempo de exposição e a aceleração de vibração. Foram vibradas as bandejas de figos na freqüência de 13 Hz, aceleração de 0,5 G em intervalos de 5 minutos, e seguidos de avaliação da aparência. Não foram observados danos superficiais mesmo quando vibrados por 20 minutos, ocorrendo o mesmo para as acelerações de 0,6 e 0,7 G. Finalmente os danos foram observados com a aceleração de vibração de 0,8 g. O tempo de vibração foi de 20 minutos. Durante este ensaio foi observado que algumas bandejas de figos logo, no início da vibração, perderam o contato com os engradados e começaram trepidar, e conseqüentemente os figos começaram a ter o mesmo comportamento, provocando constantes mudanças de suas posições, com isto apareceram os danos de abrasão e impactos. Durante a rotação dos figos, seus pedúnculos começaram a perfurar outros figos atingindo a região da polpa. Neste ensaio alguns figos foram impelidos de suas posições nas bandejas sendo recolocados imediatamente.

Na freqüência de 2 Hz não foram identificados danos superficiais nas diversas acelerações e tempos de exposições, porem nesta freqüência ocorreu acomodação e adensamento dos figos, evidenciando os contornos planos das laterais e fundos das bandejas. Desta forma a freqüência de 13 Hz, aceleração de 0,8 G e tempo de vibração de 20 minutos foram escolhidos para a realização dos ensaios.

Ensaio de vibração

No dia 21 de janeiro de 2004, os figos foram colhidos e transportados para o galpão de expedição, onde foram selecionados os figos de tamanho médio e com mínimo de danos provenientes da colheita. Foram inspecionados e anotados os possíveis danos de todos os figos utilizados neste ensaio. Depois desta avaliação os figos foram embalados nas bandejas, colocados nos engradados e transportado por automóvel para o CENTRO DE TECNOLOGIA DA UNICAMP.

Os ensaios começaram as 9:30 h, com a vibração da primeira bandeja com tempo de exposição de 25 minutos, Tabela 5.8.1. Esta tabela foi modificada devido à exclusão da frequência de 2 Hertz, e as quantidades de bandejas foram aumentadas de 10 para 15, que foram vibradas na frequência de 13 Hz. Após a vibração da bandeja 8, que terminou as 12:10h, houve um intervalo até as 13: 20h, quando foi reiniciado com a bandeja 9. O término do ensaio foi as 15 h na bandeja 15.

Tabela 5.8.1 Distribuição aleatória das bandejas.

Ensaio	1	2	3	4	5
Tempo (min)	5	10	15	20	25
Bandejas	11	5	4	7	1
	2	9	14	6	8
	10	15	13	12	3
Frequência (Hz)	13				
Aceleração (G)	0,8				

Das 15 bandejas ensaiadas, quatro delas trepidaram dentro dos engradados, e os figos rolaram provocando sérios danos de abrasão retirando a epiderme e atingindo a região da polpa, além dos impactos que causaram amassamentos, (Figura 5.8.1 e Figura 5.8.2).

Nas rolagens dos figos, os seus pedúnculos provocaram perfurações nos figos vizinhos. Caracteristicamente, muitas bandejas após o início da vibração começaram a trepidar e os figos a rolar, mas depois de certo tempo os figos se acomodaram cessando esta movimentação intensa. Muitos figos que trepidaram sem provocar rotação, não tiveram marcas de abrasão, mas apresentaram manchas escuras e umedecidas nas regiões de contato devido aos impactos sucessivos.



Figura 5.8.1 Aparência dos figos após ensaio onde a bandeja trepidou e os figos rolaram com sinais visíveis da remoção da epiderme e perfurações provocadas pelos pedúnculos.

Observou-se que o comportamento do conjunto bandejas e figos mesmo mantidos as condições de amplitude e frequência de vibração, foi aleatório. Alguns conjuntos perderam os contatos com os engradados e trepidaram, enquanto outros acompanharam o movimento vibratório sem muito se deslocarem de suas posições iniciais de repouso.



Figura 5.8.2 Aparência dos figos após ensaio de vibração, com sinais de danos.

As bandejas que trepidaram, tiveram seus figos extremamente danificados, e os danos foram aumentando com o tempo de vibração. A Tabela 5.8.2 apresenta as notas médias de avaliação de aparência dos oito figos, o desvio padrão e o coeficiente de variação de cada bandeja.

Tabela 5.8.2 Notas médias dos figos das bandejas que trepidaram durante as vibrações.

Tempo de vibração (min)	10		10		15		25	
Bandeja (n.)	9		15		4		1	
Parâmetros	Figos	Notas	Figos	Notas	Figos	Notas	Figos	Notas
Identificação dos figos	9.1	10	15.1	27	4.1	30	1.1	31
	9.2	7	15.2	23	4.2	15	1.2	31
	9.3	7	15.3	23	4.3	31	1.3	31
	9.4	31	15.4	3	4.4	15	1.4	15
	9.5	31	15.5	31	4.5	10	1.5	7
	9.6	31	15.6	15	4.6	31	1.6	23
	9.7	27	15.7	12	4.7	31	1.7	31
	9.8	27	15.8	31	4.8	15	1.8	27
Nota média		21.38		20.63		22.5		24.5
Desvio padrão		11.24		9.88		9.24		9.06
Coeficiente de variação		0.52		0.47		0.41		0.37

As bandejas que não trepidaram durante as vibrações, os figos não rolaram e conseqüentemente produziram menos danos de abrasão e impacto, (Figura 5.8.2). As notas apresentadas pelas tabelas 5.8.3; 5.8.4; 5.8.5 são os valores médios, o desvio padrão e o coeficiente de variação das 11 bandejas.



Figura 5.8.3 Aparência dos figos após ensaio, a bandeja sem danos de vibração.

Tabela 5.8.3 Notas médias dos figos das bandejas que não trepidaram durante as vibrações

Tempo de vibração (min)	5						10	
	2		10		11		5	
Bandeja (n.)	2		10		11		5	
Parâmetros	Figos	Notas	Figos	Notas	Figos	Notas	Figos	Notas
Identificação dos figos	2.1	3	10.1	3	11.1	11	5.1	1
	2.2	3	10.2	1	11.2	1	5.2	2
	2.3	1	10.3	1	11.3	1	5.3	14
	2.4	1	10.4	1	11.4	1	5.4	12
	2.5	1	10.5	3	11.5	3	5.5	3
	2.6	1	10.6	3	11.6	3	5.6	3
	2.7	1	10.7	3	11.7	1	5.7	11
	2.8	2	10.8	3	11.8	7	5.8	1
Nota média		1.62		2.25		3.5		5.87
Desvio padrão		0.91		1.03		3.66		5.46
Coefficiente de variação		0.56		0.45		1.04		0.93

Tabela 5.8.4 Nota média dos figos cujas bandejas não trepidaram durante as vibrações

Tempo de vibração (min)	15				20			
	13		14		6		7	
Parâmetros	Figos	Notas	Figos	Notas	Figos	Notas	Figos	Notas
Identificação dos figos	13.1	1	14.1	1	6.1	15	7.1	4
	13.2	1	14.2	1	6.2	3	7.2	4
	13.3	1	14.3	1	6.3	7	7.3	2
	13.4	1	14.4	3	6.4	3	7.4	1
	13.5	1	14.5	1	6.5	11	7.5	3
	13.6	1	14.6	1	6.6	11	7.6	3
	13.7	3	14.7	1	6.7	1	7.7	3
	13.8	3	14.8	3	6.8	1	7.8	1
Nota média		1.5		1.5		6.5		2.62
Desvio padrão		0.92		0.92		5.31		1.18
Coefficiente de variação		0.61		0.61		0.81		0.45

Tabela 5.8.5 Nota média dos figos cujas bandejas não trepidaram durante as vibrações.

Tempo de vibração (min)	20		25					
	12		3		8			
Parâmetros	Figos	Notas	Figos	Notas	Figos	Notas	Figos	Notas
Identificação dos figos	12.1	7	3.1	9	8.1	7		
	12.2	3	3.2	1	8.2	7		
	12.3	1	3.3	1	8.3	11		
	12.4	3	3.4	11	8.4	3		
	12.5	3	3.5	5	8.5	3		
	12.6	3	3.6	3	8.6	3		
	12.7	5	3.7	1	8.7	3		
	12.8	3	3.8	4	8.8	7		
Nota média		3.5		4.37		5.5		
Desvio padrão		1.77		3.81		2.97		
Coeficiente de variação		0.50		0.87		0.54		

Os 120 figos foram avaliados logo após a vibração e tiveram seus danos avaliados pelo critério de notas. Dessa forma, 31,66% foram considerados impróprios para a comercialização, pois se encontravam nas bandejas em que ocorreu trepidação durante os ensaios. A Tabela 5.8.6 mostra as distintas categorias resultantes após os ensaios, conforme metodologia descrita na seção 4.4.5. Na tabela 5.8.7 mostra a distribuição dos resultados somente das bandejas que trepidaram por tempos de vibração, e das bandejas que não trepidaram também por tempo de vibração, (Tabela 5.8.8).

Tabela 5.8.6 Distribuição dos resultados da classificação por classe de danos.

Quantidade de figos por notas	%	Descrição	Condição
34	28.33	Sem danos	Excelente
34	28.33	Danos leves	Boa
14	11.66	Danos moderados	Regular
18	15	Danos severos	Ruim
20	16.66	Danos extremos	Péssimo

Tabela 5.8.7 Bandejas que trepidaram, distribuição dos resultados por tempo de vibração

Tempo vibração	10		15		25	
	Nota	%	Nota	%	Nota	%
Sem danos						
Danos leves	1	6.2				
Danos moderados	2	12.5			1	12.5
Danos severos	3	18.7	4	50	1	12.5
Danos extremos	10	62.5	4	50	6	75
Total de figos	16		8		8	

Tabela 5.8.8 Bandejas que não trepidaram, distribuição dos resultados por tempo de vibração

Tempo vibração	5		10		15		20		25	
	Nota	%	Nota	%	Nota	%	Nota	%	Nota	%
Sem danos	12	50	2	25	12	75	5	20.8	3	18.8
Danos leves	10	41.6	3	37.5	4	25	11	45.8	5	31.2
Danos moderados	1	4.1	3	37.5			5	20.8	5	31.2
Danos severos	1	4.1					3	12.6	3	18.8
Danos extremos										
Total de figos	24		8		16		24			

A Tabela 5.8.9 mostra as perdas de massa de todos os figos ensaiados, e as medidas do dia 21/01/2004 foram tomadas logo após os ensaios de vibração, depois 24, 48, 72 e 96 horas. As perdas de massa, em gramas e percentual, correspondem aos valores médios das três bandejas vibradas nos tempos.

Tabela 5.8.9 Perdas de massa de todos os figos após as vibrações.

Tempo	21/01/2004		22/01/2004		23/01/2004		24/01/2004		25/01/2004	
	Perda massa		Perda massa		Perda massa		Perda massa		Perda massa	
	(g)	(%)								
5	5.43	1	19.5	4	29.5	6	41.03	8	48.13	9
10	7.40	1	21.43	4	33.03	6	45.60	9	52.17	10
15	5.77	1	19.53	4	30.07	6	42.07	8	49.73	10
20	5.33	1	18.9	4	30.17	6	410.3	8	47.10	10
25	2.67	0	20.9	4	33.07	6	45.33	8	52.30	10

As perdas de massa das bandejas que no ensaio de vibração trepidaram, são apresentadas na Tabela 5.8.10, o tempo de 10 minutos, apresenta os valores médios das bandejas 9 e 15. As demais são bandeja 4 vibrou no tempo de 15 minutos e bandeja 1 no tempo de 25 minutos.

Tabela 5.8.10 Perdas de massa dos figos cujas bandejas trepidaram dentro dos engradados

Tempo	21/01/2004		22/01/2004		23/01/2004		24/01/2004		25/01/2004	
	Perda massa		Perda massa		Perda massa		Perda massa		Perda massa	
	(g)	(%)								
10	9.4	2	21.8	4	33.9	7	46.05	9	52.9	11
15	2.9	0	24	4	37.4	7	52.8	10	63.6	12
25	1.5	0	25.2	4	39.9	7	54.1	10	62.2	12

As perdas de massa após os ensaios podem ser consideradas normais, e a influência das vibrações neste processo pode ser considerada mínima. Todos os figos após

os ensaios foram colocados em bancada e mantidos a temperatura ambiente. Eles foram mantidos dentro das suas bandeja, e durante quatro dias foram avaliados quanto as suas aparência e observou-se o seguinte:

Os figos das bandejas que trepidaram durante os ensaios e que tiveram sérios danos de abrasão, após 24 h todas as regiões onde sofreram impactos, estavam com coloração escura e umedecida, e aparência ruim. Depois de 48 h, esses danos se agravaram e começaram as formações de fungos, secreções gomosas discretas e sinais de decomposição. No dia 24, 72 h após, uma bandeja já apresentava figos totalmente em decomposição e envolvido por fungos, e secreção gomosa acentuada.

Nas bandejas que não trepidaram e os figos mantiveram suas posições durante os ensaios de vibração, as pequenas manchas que ocorrem nas posições de contatos foram ao longo dos dias se agravando e, em alguns figos nas regiões onde tiveram marcas com retirada da epiderme ou pequenas perfurações, evidenciando murchamento e a aparência ficou rugosa nestas regiões.

Na Tabela 5.8.11 apresentam-se os dados meteorológicos na região de Campinas Estado de São Paulo, durante os dias dos ensaios.

Tabela 5.8.11 Dados Meteorológicos na região de Campinas S. P. (CEPACRI) nos dias da realização dos experimentos.

Dia	Temperatura (° C)		Umidade relativa (%)
	Mínima	Máxima	
20/01/2004	17	30	49
21/01/2004	20	29	56
22/01/2004	20	29	74
23/01/2004	20	31	53
24/01/2004	20	28	66

6. CONCLUSÕES

- 1- Os ensaios realizados foram adequados para medir as acelerações e identificar as frequências que ocorrem durante o transporte de figos.
- 2- As frequências identificadas com níveis elevados de PSD foram significativas nas faixas de 0 até 5 Hz, predominando as frequências de 2 Hz, e na faixa de 10 a 15 Hz predominando as frequências de 13 Hz.
- 3- Observou-se também que das 15 bandejas ensaiadas, somente 4 delas trepidaram e os figos rolaram durante os ensaios, conclui-se que as frequências naturais destas bandejas estejam próximas da frequência de excitação da base que foi de 13 Hz, criando assim uma instabilidade de ressonância nos ensaios, causando sérios danos mecânico ao produto.
- 4- A frequência de 13 Hz deve ser evitada no transporte, ou as bandejas devem ser modificadas mudando assim a sua frequência natural.
- 5- Na traseira e no topo da carga na carroçaria é a região onde apresentou as maiores amplitudes de aceleração, conseqüentemente o local onde o figo esta mais exposto aos danos mecânicos da vibração.
- 6- Futuras pesquisas devem ser direcionadas para a melhoria das embalagens de figos, e evitar o deslocamento deles em seus assentos, principalmente o movimento de rotação.

7. BIBLIOGRAFIA

ARDITO, Elisabeth F. G. Comparison of Field Testing and Laboratory Testing for Tomatoes in Distribution Package in Brazil. (Thesis, 1986).

BERG, C. C. and WIEBES, J. T. African Figs and Figs Wasps – Amsterdam – North Holland, 1992, 198 pages.

BRACEWELL, R. N. The Fourier Transform and its applications. . New York: Mc.

CÓRNER, E. J. H. An Introduction to the Distribution of Ficus – Reinwardtia 4 (3): 15- 45, 1958.

CÓRNER, E. J. H. Checklist of Ficus in Asia and Australia with keys to Identification, Gardens Bulletin – Singapore – 21: 1- 186, 1965.

DOEBELIN, Ernest O. Measurement System: application and design, New York: Mc Graw- Hill, 1975. 772p. Graw-Hill.

Goff, J. W. and D. Twede Boxes, bags and cans: Performance of packages for the transportation of agricultural products. Michigan State Univ. Special Report 14, 1979.

HARRIS, F. Trigonometric Transform, Scientific Atlanta, Technical Publication DSP-005, San Diego, CA.

HINSCH, R. T., SLAUGHTER, D. C., CRAIG, W. L., THOMPSON J. F. Vibration of Fresh Fruits and Vegetables during Refrigerated Truck Transport ASAE 0001-2351 3604 1039-1042 1993.

HONÓRIO S. L., MORETTI C. L., CORTEZ L. A. B. Resfriamento de frutas e Hortaliças, Embrapa Brasília DF, 428p, 2002.

JANZEN, DANIEL H. Ecology of Plants in the Tropics – London – Edward Arnold, 1975.

LAMBERT, MARK-Agricultura e o Meio Ambiente, São Paulo – Scipione, 1993.

O ESTADO DE SÃO PAULO, Manual de redação e estilo Editora Parma Ltda, Guarulhos São Paulo Brasil, 350 pág, 1990.

O'BRIEN M, FRIDLEY R. B., CLAYPOOL L. L., Food Losses in Harvest and Handling System for Fruits and Vegetables Transactions of the ASAE 1978.

RANDALL, R., Frequency Analysis Third Edition – Bruel & Kjaer, 1987.

SEARS W. Francis, ZEMANSKI, Mark W. Mecânica e Hidrodinâmica, Rio de Janeiro, Vol. 1 207p, 1973.

SLAUGHTER, D. C., HINSCH, R. T., THOMPSON, J. F., and Assessment of Vibration Injury to Bartlett Pears ASAE Vol. 36 (4): 1043-1047 –1993.

SLAUGHTER, D. C., HINSCH, R. T., THOMPSON, J. F., Packaging Bartlett Pears in Polyethylene Film Bags to Reduce Vibration Injury in Transit. ASAE 001-2351/98/4101-107 Vol. 41(1): 107-114, 1998.

STEINBERG, D., Vibration Analysis for Electronic Equipment, Wiley-Interscience, New York, 1988.

THOMSON, Willian T. Teoria da Vibração e suas aplicações, 1973.

TIMM E. J., BROWN G. K., ARMSTRONG P. R. Apple Damage in Bins During Semi trailer Transport ASAE 0883-8542/96/1203-1369 1996.

VERGANO, P. J., TESTIN, R. F., NEWALL, JR, Distinguishing Among Bruises in Peaches Caused by Impact, Vibration, and Compression – Journal of Food Quality 14 (1991) 285- 298. College of Agricultural Sciences Clemson University – South Carolina.

Vibration Testing, Introduction to Vibration Testing, Section 9 (1), Scientific Atlanta, Spectral Dynamics Division, San Diego, CA Rev 5/72.