

**SERGIO LUIZ PEREIRA**

**ASPECTOS SOBRE PROCESSOS  
AUTOMATIZADOS DE PESAGEM  
RODOFERROVIÁRIA:  
UMA PROPOSTA DE MODERNIZAÇÃO DE  
POSTOS EM OPERAÇÃO**

**Tese apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de  
São Paulo para obtenção do  
título de Doutor em Engenharia**

**São Paulo  
1995**

**SERGIO LUIZ PEREIRA**

**ASPECTOS SOBRE PROCESSOS  
AUTOMATIZADOS DE PESAGEM  
RODOFERROVIÁRIA:  
UMA PROPOSTA DE MODERNIZAÇÃO DE  
POSTOS EM OPERAÇÃO**

**Tese apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de  
São Paulo para obtenção do  
título de Doutor em Engenharia**

**Área de Concentração:  
Sistemas de Potência**

**Orientador:  
Prof. Dr. Cícero Couto de Moraes**

**São Paulo  
1995**

**"O ser dorme no reino mineral, sente no reino vegetal, se anima no animal e desperta no homem."**

**Leon Denis**

**A Chantal, Francisco e Palmyra**

**pelo infinito apoio e amor.**

## ***Agradecimentos***

À Escola Politécnica da Universidade de São Paulo pela acolhida e motivação de sempre buscar o aprimoramento e o desenvolvimento científico.

Ao Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas por ter possibilitado a infra-estrutura técnica e acadêmica para a realização desse trabalho.

Ao Prof. Dr. Cícero Couto de Moraes que, mesmo nos momentos mais difíceis, sempre esteve presente com sua generosa amizade e orientação, tornando-se o imprescindível apoio e referência para superar os maiores desafios.

Aos professores do Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Prof. Dr. Tamio Shimizu, Prof. Dr. Pedro Rodrigues Bueno Neto, Prof. Dr. Pedro Luiz de Oliveira, Prof. Marco Aurélio de Mesquita, Prof. Luiz Fernando Pinto de Abreu, pelas oportunas e orientativas sugestões para aferir o desempenho do sistema proposto neste trabalho e por terem gentilmente cedido equipamento e a ferramenta de simulação.

Ao Prof. Leonardo Pujatti do Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais que tanto colaborou no modelamento e simulação do sistema proposto neste trabalho.

Ao prof. dr. Eduardo Mario Dias pela manifestação de incentivo ao longo da jornada.

A todos os colegas professores do Departamento de Engenharia e Automação Elétricas que contribuíram com o constante incentivo e sugestões para o aprimoramento do trabalho.

A Neusa Yoscimoto, pela inestimável ajuda nas pesquisas bibliográficas, e ao aluno André Horário Camargo Carezia pelo auxílio na programação.

Finalmente, desculpando-se pelas eventuais omissões, a todos que o destino colocou no caminho com o intuito de convergir esforços e realizações.

# ***SUMÁRIO***

**Lista de figuras**

**Lista de tabela**

**Resumo**

**Abstract**

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 Necessidade da modernização e otimização dos sistemas de pesagem .....	1
1.2 Definição do processo de pesagem estático rodoferroviário .....	2
1.3 Definição do processo de pesagem rodoferroviário dinâmico. ....	5
1.4 Objetivos do trabalho proposto .....	6
<b>2 SISTEMAS INTEGRADOS DE PROCESSOS DE PESAGEM</b> .....	8
2.1 Introdução .....	8
2.2 Terminologia sobre instrumentos de pesagem .....	9
2.3 Classificação funcional dos sistemas de pesagem .....	10
2.3.1 Sistemas estáticos .....	11
2.3.2 Sistemas de batelada .....	11
2.3.3 Sistemas de pesagem contínua (balanças integradoras de fluxo) .....	12
2.3.4 Classificação geral dos sistemas eletrônicos de pesagem (SEP) .....	12
2.4 Sistemas de pesagem rodoferroviários .....	13
2.4.1 Classificação dos sistemas de pesagem rodoferroviários quanto a conversão e aquisição de massa .....	14
2.4.2 Sistemas rodoferroviários mecânicos para pesagens estáticas .....	14
2.4.3 Sistemas rodoferroviários híbridos para pesagens estáticas .....	18
2.4.4 Sistemas rodoferroviários eletrônicos para pesagens estáticas .....	19

2.4.5	Especificação quanto a capacidade de carga e precisão	20
2.4.5.1	Erro máximo tolerado	22
2.4.5.2	Fator de dispersão	23
2.4.5.3	Histerese	24
2.4.5.4	Influência da posição da carga	25
2.4.6	Sistemas de pesagem rodoferroviários estáticos	25
2.4.7	Classificação dos sistemas rodoferroviários estáticos quanto ao grau de automação	26
2.4.7.1	Sistema rodoferroviário estático de processo manual	27
2.4.7.2	Sistema rodoferroviário de processo automático	27
2.4.7.3	Necessidade da implantação de um Sistema Integrado de Processo de Pesagem	28
<b>3 TRATAMENTO DE SINAIS E DADOS PERTINENTES AO PROCESSO DE PESAGEM</b>		<b>32</b>
3.1	Introdução	32
3.2	Tratamento de sinais	33
3.2.1	Análise dos resultados obtidos experimentalmente em laboratório	36
3.2.2	Análise dos resultados obtidos em campo	41
3.3	Necessidade da implementação da curva característica de pesagem	43
3.4	Especificação de desempenho do sistema	46
3.5	Digitalização do sinal analógico para o levantamento da curva de pesagem	51
3.6	Módulo e algoritmo de tratamento de sinal do STDFD	53
3.6.1	Algoritmo STDFD para pesagens em movimento	54
3.6.2	Algoritmo STDFD para pesagens estáticas	67
3.6.3	Ensaio e análise de desempenho do algoritmo STDFD	68



<b>4 UMA NOVA CONCEPÇÃO PARA OS SISTEMAS EXISTENTES</b> .....	79
4.1 Introdução .....	79
4.1.1 Garantia total da confiabilidade do processo de pesagem. ....	79
4.1.2 Aumento da eficiência operativa. ....	80
4.2 Sistema Integrado de Postos de Pesagem Automatizados (SIPPA). ....	80
4.2.1 Arquitetura do hardware do Sistema Integrado de Postos de Pesagens Automatizados (SIPPA) .....	81
4.2.1.1 Hardware de Posto de Cadastramento e Controle (PCC) .....	83
4.2.1.2 Hardware de um Posto de Pesagem Operativo (PPO) .....	84
4.2.2 Arquitetura do software de um Posto de Pesagem Operativo (PPO) ....	85
4.2.2.1 Módulo Gerenciamento do Posto .....	87
4.2.2.2 Módulo Controle de Pesagem (MCP) .....	88
4.2.2.2.1 Descritivo módulo MCP para pesagem estática. ....	90
4.2.2.2.2 Descritivo módulo MCP para pesagem estática. ....	92
4.2.2.3 Módulo Identificador .....	93
4.2.2.4 Módulo Comunicação .....	93
4.3 Análise global de desempenho comparativo entre os Sistemas Convencionais e o SIPPA .....	94
4.3.1 Descritivo operacional do SIPPA .....	94
4.3.2 Medições de desempenho dos Postos de Pesagem atuais e dos PCCs e PPOs do SIPPA .....	96
4.3.3 Dimensionamento operativo do SIPPA .....	97
4.3.3.1 Simulação de pesagem do Sistema Convencional .....	99
4.3.3.2 Simulação de pesagem em SIPPA .....	103
4.4 Análise comparativa de desempenho e custo de Sistema Convencional e SIPPA .....	107

**5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS ..... 111**

**Bibliografia ..... 117**

**Apêndice**

## ***LISTA DE FIGURAS***

Figura 1.1 - Composição do processo de pesagem estática .....	2
Figura 1.2a - Corte. Veículo corretamente posicionado .....	4
Figura 1.2b - Planta. Veículo corretamente posicionado .....	4
Figura 2.1 - Classificação geral dos sistemas de pesagem .....	13
Figura 2.2 - Diagrama funcional de sistema mecânico de pesagem .....	15
Figura 2.3 - Sistema de pesagem mecânico com alavancas lineares .....	17
Figura 2.4 - Sistema de pesagem mecânico com alavancas tubulares .....	17
Figura 2.5 - Sistema híbrido de pesagem com alavancas lineares .....	18
Figura 2.6 - Sistema eletrônico de pesagem .....	19
Figura 2.7 - Esquema funcional de um sistema eletrônico de pesagem .....	20
Figura 2.8- Erro máximo tolerado para aferição inicial e periódica .....	23
Figura 2.9 - Histerese típica de um sistema de pesagem .....	24
Figura 2.10 - Posicionamento das cargas .....	25
Figura 2.11 - Sistema Integrado de Pesagem .....	31
Figura 3.1 - Modelos de strain gage .....	34
Figura 3.2 - Diagrama esquemático de monitor de pesagem .....	35
Figura 3.3 - Diagrama de blocos do ensaio efetuado .....	37
Figura 3.4 - Diagrama esquemático do ensaio de célula de carga realizado em laboratório .....	37
Figura 3.5 - Sinal de saída $c_1(t)$ do amplificador diferencial antes do filtro de compensação, obtido em ensaio de laboratório com peso padrão de 1 kg .....	38
Figura 3.6 - Sinal de saída do amplificador diferencial após o filtro de compensação, obtido em ensaio de laboratório com peso padrão de 1 kg. ....	40
Figura 3.7 - Diagrama esquemático do ensaio realizado em campo com balança rodoviária hibridizada .....	41

Figura 3.8 - Sinal de saída do amplificador após o filtro de compensação em pesagem dinâmica com veículo de 4 eixos .....	42
Figura 3.9 - Sinal de saída do amplificador após o filtro de compensação em pesagem dinâmica com veículo de 6 eixos .....	42
Figura 3.10 - Exemplo de uma curva característica de pesagem de um veículo de quatro eixos em movimento sobre uma plataforma de pesagem sem cometer nenhum tipo de irregularidade .....	44
Figura 3.11 - Exemplo de uma curva característica de pesagem de um veículo de quatro eixos em movimento sobre uma plataforma com um eixo exercendo força lateral na mureta de proteção .....	44
Figura 3.12 - Exemplo de uma curva característica de pesagem de um processo estático com um veículo de quatro eixos .....	45
Figura 3.13 - Exemplo de uma curva característica de pesagem de um processo estático com um veículo de quatro eixos com procedimento irregular	46
Figura 3.14 - Ilustração de distância útil para pesagem dinâmica .....	48
Figura 3.15 - Ilustração de distância entre eixos .....	49
Figura 3.16 - Diagrama esquemático monitor de pesagem e algoritmo STDFD	53
Figura 3.17 - Fluxograma do algoritmo STDFD .....	55
Figura 3.18 - Banco de dados obtido pelo algoritmo STDFD .....	56
Figura 3.19 - Fluxograma do módulo pesquisa de patamares do algoritmo STDFD .....	58
Figura 3.20- Ilustração temporal de um possível grupo de conjuntos de $CP_k$ ...	61
Figura 3.21 - Fluxograma do módulo cálculo de continuidade e cálculo final de patamar do algoritmo STDFD .....	63
Figura 3.22 - Fluxograma do módulo cálculo dos incrementos e decrementos do algoritmo STDFD .....	64
Figura 3.23 - Fluxograma do módulo confirmação do processo. ....	66

Figuras 3.24 a 3.39 - Curvas características obtidas pelo tráfego de veículos sobre a plataforma de pesagem. ....	70 a 77
Figura 4.1 - Sistema SIPPA para um complexo de companhia de transporte e carga e descarga .....	82
Figura 4.2 - Exemplo de arquitetura do sistema SIPPA .....	83
Figura 4.3 - Esquema de Posto de Pesagem Operativo .....	84
Figura 4.4 - Diagrama de blocos funcional de um Posto de Pesagem Operativo .	85
Figura 4.5 - Arquitetura do Controle Automático de Pesagem Posto Operativo	86
Figuras 4.6.a e 4.6.b - Exemplo de uma máquina de estado com a respectiva simbologia de etapa/transição .....	89
Figura 4.7 - Módulo MCP para pesagens estáticas .....	91
Figura 4.8 - Módulo MCP para pesagens dinâmicas. ....	92
Figura 4.9 - Diagrama de blocos de um Sistema Convencional .....	99
Figura 4.10 - Diagrama de blocos de um SIPPA .....	103

## ***LISTA DE TABELAS***

Tabela 2.1 - Normalização de erro máximo em função do tipo de balança .....	21
Tabela 2.2 - Ilustrativo das operações do controle fluxo de carga .....	26
Tabela 3.1 - Veículos utilizados nos ensaios em campo .....	41
Tabela 4.1 Tempos típicos em segundos das operações de um sistema informatizado convencional. ....	96
Tabela 4.2 - Tempos típicos em segundos das operações de um sistema SIPPA operando para pesagens estáticas. ....	97
Tabela 4.3 - Sequência de eventos com os respectivos tempos dispendidos no Sistema Convencional. ....	101
Tabela 4.4 - Simulação de atendimento de pesagem de veículos em Sistema Convencional. Razão de chegada de veículos EXPO (0,33) com limitação máxima de 200 veículos. ....	101
Tabela 4.5 Simulação de atendimento de pesagem de veículos em Sistema Convencional. Razão de chegada EXPO (0,5). ....	102
Tabela 4.6- Sequência de eventos com os respectivos tempos dispendidos no SIPPA .....	104
Tabela 4.7 - Simulação de atendimento de pesagem de veículos no SIPPA. Razão de chegada de veículos EXPO (0,33) minutos com limitação máxima de 200 veículos. ....	105
Tabela 4.8 - Simulação de atendimento de pesagem de veículos no SIPPA . Razão de chegada de veículos EXPO (0,5). ....	106
Tabela 4.9 - Indicativo de custo de posto de pesagem para um período de 5 anos de operação .....	107
Tabela 4.10 - Indicativo de custos de um Sistema Convencional para um período de cinco anos de operação. ....	107
Tabela 4.11 - Indicativo de custos de um SIPPA para um período de 5 anos de operação. ....	108

<b>Tabela 4.12 - Estudo comparativo de desempenho entre SIPPA e Sistema Convencional para um período de operação de 240 minutos com uma taxa probabilística exponencial de 0,5 minutos de chegada de veículos. ....</b>	<b>109</b>
---	------------

## ***RESUMO***

A correta aferição da massa é de vital importância para as relações comerciais e, portanto, tornou-se um dos pontos nevrálgicos da economia. Os atuais sistemas de pesagem rodoferroviária, mesmo os mais modernos, apresentam sérios problemas: morosidade do processo, inexistência de um sistema que supervisione o tráfego dos veículos sobre a plataforma, e também a inexistência de um processo eficaz e rápido para o trâmite de informações relativas aos processos de pesagem entre os diversos setores do complexo.

Este trabalho propõe um Sistema Integrado de Postos de Pesagem que atenderá as exigências acima mencionadas e que operará com altos índices de confiabilidade e produtividade compatíveis com as atuais tendências de globalização da economia.

Neste trabalho são apresentados a metodologia operacional, algoritmos de análise de processos de pesagem, a arquitetura e a filosofia sistêmica que possibilitam um significativo incremento da capacidade produtiva, controle administrativo e da qualidade e confiabilidade dos processos de pesagem.

São analisados também a capacidade de identificação de erros do processo, índices de desempenho como tempo médio de espera do usuário, número de usuários atendidos, pontos de estrangulamento das diversas configurações possíveis e a configuração que atinja a melhor relação de custo benefício do sistema proposto.



## ***ABSTRACT***

The correct weighing of mass is of vital importance for commercial relationships and therefore, paramount to economy. The present systems of weighing trucks and trains, including those most up to date, present serious problems: the slow process, the non-existence of a system that supervises the movement of vehicles over a platform and likewise the non-existence of fast efficient process for exchanging information related to the processes of weighing between several sectors of the complex.

This work proposes an Integrated System of Weighing Posts that will attend to the aforementioned demands and which will operate with a high indice of reliability and productivity compatible with the present day tendencies towards the globalization of economy.

This work presents the following: operational methodology, analysis algorithms in the process of weighing, the architecture and systematic philosophy that enable a significant improvement in the production capacity, administrative control and of quality and reliability of the weighing process.

Furthermore, an analysis is made of the capacity to identify errors in the process, performance indices of average waiting time for each user, number of users attended, channelling points of the various possible configurations and the ideal configuration that obtains the best relation of cost benefits of the proposed system.

# ***Capítulo 1***

---

## **INTRODUÇÃO**

---

### **1.1 Necessidade da modernização e otimização dos sistemas de pesagens**

Um dos braços fundamentais da economia de um país é a eficiência operacional e administrativa do seu complexo portuário e do controle rodoferroviário das cargas transportadas. É através dos portos, rodovias e ferrovias que acontece o trânsito majoritário das riquezas que movimentam os modos de produção e os setores de prestação de serviços.

A principal fonte de receitas de um complexo como este é proveniente do volume de carga embarcada e desembarcada. Portanto, é vital que o sistema de pesagem que controla o fluxo de cargas seja preciso e eficiente. Tanto as tributações governamentais quanto a administração das importações e exportações de vários insumos e produtos dependem desse controle, geralmente efetuado através de pesagens rodoviárias e ferroviárias.

Apesar da importância estratégica, os sistemas que controlam o fluxo de cargas pouco evoluíram nas últimas décadas. Mesmo os sistemas eletrônicos operam manualmente e estão sujeitos a equívocos operacionais e atrasos sistemáticos que

acabam por encarecer os custos com armazenamentos e fretes, contribuindo, dessa forma, para estrangular a economia.

Assim sendo, torna-se vital que os atuais sistemas sejam reformulados e modernizados, visando o aumento da eficiência operativa e da obtenção da qualidade total do processo de pesagem. E atendam, dessa forma, os padrões internacionais de normalização.

### 1.2 Definição do processo de pesagem estático rodoferroviário

Um processo de pesagem estático rodoferroviário é aquele em que um veículo ou vagão ferroviário é posicionado corretamente sobre uma plataforma de pesagem e o valor da sua massa é medido e documentado. É, portanto, composto por duas tarefas fundamentais:

- a - Posicionamento do veículo e aquisição do dado peso.
- b - Documentação e tratamento dos dados pertinentes ao processo.

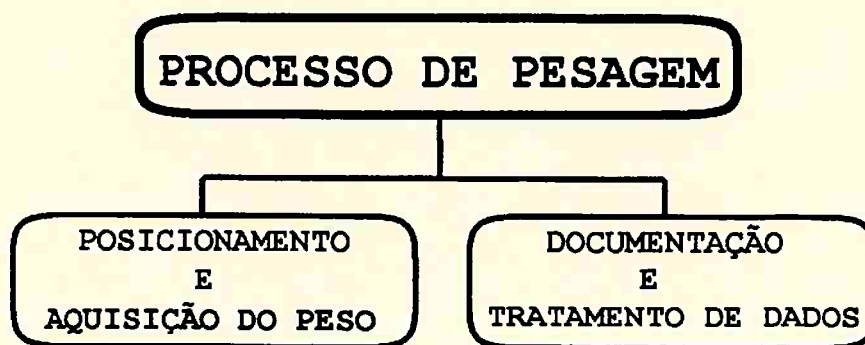


Figura 1.1 - Composição do processo de pesagem estática

A primeira tarefa **POSICIONAMENTO E AQUISIÇÃO DO PESO** engloba toda a sequência de passos, envolvendo a entrada na plataforma de pesagem, estacionamento, medição da massa e retirada do veículo ou vagão ferroviário. Para que a pesagem seja exata é necessário que todas as operações sejam executadas corretamente.

Os principais quesitos que determinam a precisão e a qualidade da pesagem são:

a - A entrada do veículo ou vagão na plataforma deve ser efetuada em baixa velocidade para não danificar o sistema de sensoriamento e de transmissão da força peso.

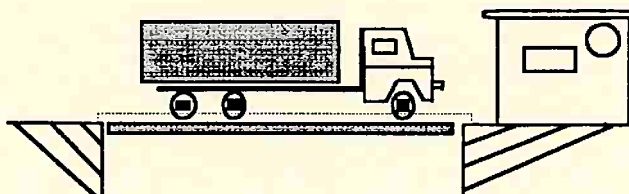
Todos os centros de massa devem adentrar sem tocar ou forçar os limites laterais da plataforma.

b - Todos os centros de massa do veículo ou vagão devem estar corretamente posicionados sobre a plataforma, sem, em nenhuma hipótese, tocar ou forçar os limites laterais da plataforma.

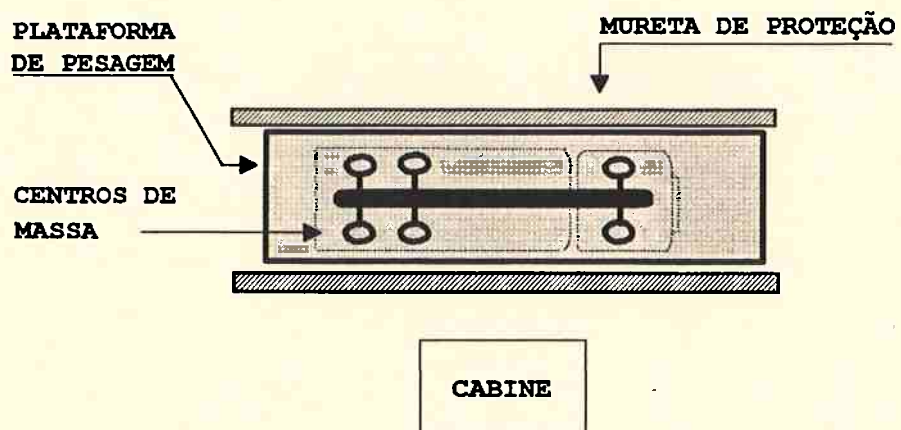
c - A medição da massa somente deve ser registrada após a certeza de que o veículo ou vagão esteja corretamente posicionado. A qualidade do equipamento aferidor do peso, somada a manutenção preditiva e corretiva dedicada ao equipamento, também influenciam o fator de precisão da pesagem.

d - A retirada do vagão ou veículo deve ocorrer após a aquisição e o registro do valor do peso e, de maneira similar a entrada, deve ser efetuada em baixa velocidade, visando não danificar o sistema de pesagem.

As figuras 1.2a e 1.2b ilustram um veículo corretamente posicionado sobre a plataforma de pesagem.



**Figura 1.2a - Corte. Veículo corretamente posicionado**



**Figura 1.2b - Planta. Veículo corretamente posicionado**

A segunda tarefa **DOCUMENTAÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS** é composta pelas diversas sub-tarefas e atividades do operador do posto de pesagem no registro, manipulação do peso e demais dados relativos ao processo. Os principais objetivos desta tarefa são:

- a - Registrar corretamente o valor do peso.
- b - Registrar corretamente as placas do veículo ou número do vagão e demais dados que identifiquem a natureza da pesagem, transportadora, destinatários, tipo de carga etc.
- c - Contabilizar e documentar a pesagem para futuro processamento.
- d - Emitir documento oficial para controle interno e para o usuário.

Para que o processo de pesagem seja válido, e atenda as suas finalidades de controle preciso do fluxo de cargas, as tarefas **POSICIONAMENTO E AQUISIÇÃO DO PESO** e **DOCUMENTAÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS** devem ser executadas corretamente.

### **1.3 Definição do processo de pesagem rodoferroviário dinâmico.**

O que diferencia um processo dinâmico de um estático é que no primeiro caso a tarefa de aquisição do valor peso é efetuada com o veículo em trânsito sobre a plataforma e no instante em que todos os eixos de massa estão sobre a plataforma. Os mesmos critérios de qualidade são exigidos para que tenhamos pesagens que atendam as normas internacionais. Assim sendo, é necessário que ambas as tarefas sejam executadas corretamente.

#### **1.4 Objetivos do trabalho proposto**

Este trabalho atende a necessidade de modernização, apresentando o sistema inédito de pesagens rodoferroviárias. O sistema foi concebido visando uma padronização da automação dos postos de pesagens portuários e a integração em rede centralizadora de gerenciamento de dados. Os principais objetivos atingidos e vantagens propiciadas por este novo sistema são:

a - Obtenção da total confiabilidade dos processos de pesagem através do controle inteligente, não permitindo, dessa forma, a ocorrência de erros acidentais ou intencionais.

b - Agilização dos processos e redução dos tempos operacionais necessários para a execução das pesagens. Assim, são padronizadas as operações e fases pertencentes aos processos, impedindo atrasos e equívocos ocorridos devido a divergência de procedimentos nos sistemas atuais.

c - Otimização da produtividade operacional da manutenção preditiva e corretiva através do sistema de autodiagnóstico.

d- Integração dos postos às necessidades operacionais definidas pelo controle de operações do trânsito dos veículos e do fluxo de movimentação de cargas.

e - Possibilidade de utilização de técnicas e ferramentas de inteligência artificial na escalação e definição da movimentação dos postos.

f - Acompanhamento e controle do carregamento e descarga dos navios através do controle, e comunicação em tempo real sobre todos os postos de pesagem.

g - Informatização do tratamento da documentação e do controle de carregamento e descarregamento dos navios.

h - Possibilidade de intercâmbio comercial e acompanhamento do fluxo de cargas entre usuários, companhias de transporte, administradores do sistema portuário, Receita Federal e Departamento Nacional de Estradas e Rodagens.



## Capítulo 2

### **SISTEMAS INTEGRADOS DE PROCESSOS DE PESAGEM**

---

#### **2.1 Introdução**

Atualmente, instrumentos e sistemas eletrônicos de pesagem são baseados em células de carga que utilizam strain gauges, sensores piezométricos ou demais transdutores de força.[19]

A monitorização, controle de qualidade e levantamento de custos da maioria dos processos contínuos, híbridos e discretos dependem cada vez mais de sistemas de pesagens que sejam precisos, confiáveis e apresentem altos índices de produtividade. A correta aferição da massa e a agilidade na documentação da mesma influem de maneira direta nos custos finais do produto e, portanto, são de vital importância. Este capítulo conceitua o que vem a ser instrumento, sistema, automação de processos de pesagem e faz uma análise dos atuais sistemas de controle de cargas rodoferroviárias.

## 2.2 Terminologia sobre instrumentos de pesagens

Instrumentos de pesagem são instrumentos de medida que servem para determinar a massa de um corpo utilizando a ação da gravidade sobre esse corpo. Esses instrumentos podem, além disso, servir para determinar outras grandezas, quantidade, parâmetros ou características ligadas à massa. [10]

Instrumentos de pesagem não automáticos são aqueles que necessitam da intervenção do operador para o depósito ou a retirada da carga. Podem ser graduados, quando fornecem a leitura direta do resultado completo ou parcial da pesagem, ou não graduados, quando não comportam uma escala numerada em unidade de massa. Os instrumentos não automáticos podem ainda ser de equilíbrio automático, semi-automático e de equilíbrio não automático. [10]

Os instrumentos de equilíbrio automático são aqueles em que a posição de equilíbrio é atingida sem a intervenção do operador.

Os instrumentos de equilíbrio semi-automático são aqueles pelos quais o operador interfere para alterar e ajustar o fundo de escala.

Os instrumentos de equilíbrio não automático são aqueles em que a posição de equilíbrio somente é atingida mediante a intervenção do operador.

Os instrumentos de pesagem podem ser mecânicos, ou seja, instrumentos que utilizam escala mecânica de engenharia e braços mecânicos ou relógios mecânicos

como indicadores de peso, ou eletrônicos, no qual a força peso de carregamento é transferida para uma célula de carga, que a converte em um sinal elétrico proporcional que, por sua vez, é amplificado, filtrado, amostrado e codificado para ser mostrado num indicador (display). Uma terceira categoria de instrumentos de pesagem são os instrumentos híbridos, onde parte da redução da força é efetuada por um sistema mecânico de alavancas para depois ser exercida sobre uma célula de carga. [10]

Outro fator importante para a precisão e confiabilidade da leitura são os dispositivos de ajuste de zero que os instrumentos de pesagem podem ter. Estes dispositivos são:

- Dispositivo não automático de ajuste de zero. Permite o ajuste de zero por um operador.
- Dispositivo semi-automático de ajuste de zero. Leva automaticamente a indicação a zero quando seguido de um comando manual.
- Dispositivo automático de ajuste de zero. Leva automaticamente a zero sem a intervenção do operador.
- Dispositivo automático inicial de ajuste de zero. Leva à leitura automaticamente a zero no instante do acionamento do instrumento.
- Dispositivo de manutenção automática de zero. Leva à leitura automaticamente a zero quando esta está dentro de certos limites.

### **2.3 Classificação funcional dos sistemas de pesagem**

Funcionalmente os sistemas de pesagens são divididos em três categorias:

### **2.3.1 Sistemas estáticos**

São sistemas em que a pesagem é efetuada com o objeto parado sobre a plataforma. Um único objeto é pesado por vez. Estes sistemas são encontrados em supermercados, correios, lojas de departamento, aeroportos, portos etc. Eventualmente, os instrumentos de medida podem ter acoplados um sistema de cálculo automático do custo do produto em função do seu peso. Sistemas estáticos são baseados em instrumentos de medida não automáticos [10]. Até o presente momento, o controle rodoferroviário do fluxo de cargas é efetuado por sistemas estáticos de pesagem.

### **2.3.2 Sistemas de batelada**

Estes sistemas são capazes de pesar itens distintos que chegam rapidamente através de correias transportadoras, um em seguida do outro. Existem várias atividades industriais onde esses sistemas são necessários, como por exemplo:

a - Indústria farmacêutica: na pesagem de produtos como comprimidos, cosméticos e soluções embaladas, ou na pesagem de garrafas, caixas, seringas etc.

b - Indústria alimentícia: na pesagem de produtos como biscoitos, cereais embalados, leite em caixas tipo longa vida ou em plástico, margarina e manteiga, latas de óleo, açúcar em sacos etc.

c - Indústria agrícola: na pesagem de sementes, fertilizantes, grãos em sacos etc.

### **2.3.3 Sistemas de pesagem contínua (balanças integradoras de fluxo)**

São sistemas projetados para pesar materiais como ferro, carvão, ouro ou produtos como soda, grãos, fertilizantes, e outros que também não estão ensacados e chegam continuamente em correias transportadoras.

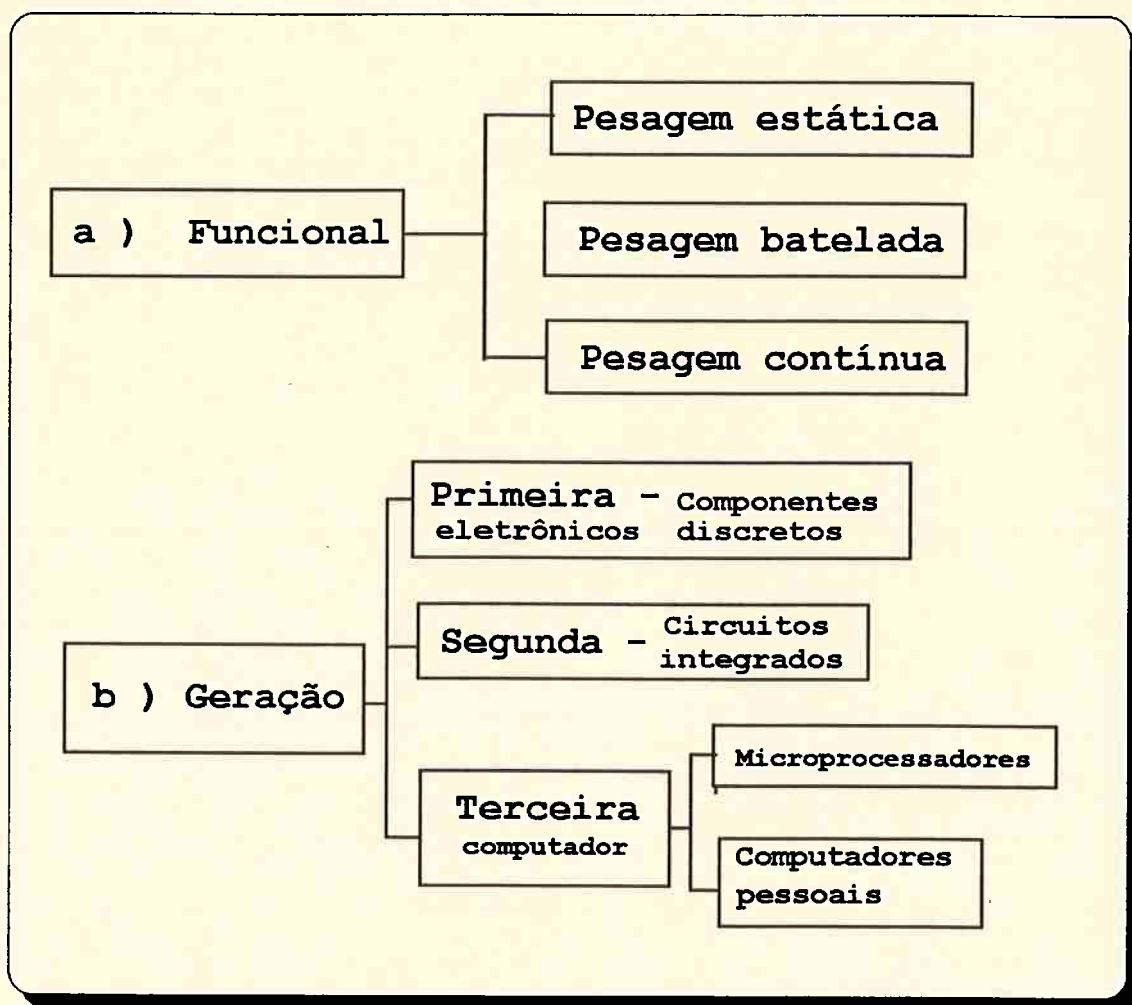
#### **2.3.4 Classificação geral dos sistemas eletrônicos de pesagem (SEP)**

Os sistemas eletrônicos de pesagem surgiram há duas décadas e aos poucos vêm substituindo os sistemas mecânicos.

Podem ser classificados quanto ao seu funcionamento e quanto a sua geração.[19]

A classificação quanto ao funcionamento determina que os SEPs podem ser projetados para: pesagem estática, pesagem de batelada e pesagem contínua.

A classificação quanto a geração diz respeito a tecnologia empregada no projeto e desenvolvimento do SEP. Na primeira geração os projetos foram baseados em componentes eletrônicos discretos. Na segunda os circuitos integrados substituíram a maioria dos componentes eletrônicos. A terceira geração de Sistemas Eletrônicos de Pesagem utiliza microprocessadores ou computadores pessoais juntamente com circuitos integrados.



**Figura 2.1 - Classificação geral dos sistemas de pesagem**

#### **2.4 Sistemas de pesagem rodoferroviários**

Sistemas de pesagem rodoferroviários são utilizados nos mais diversos ambientes. As principais funções são:

- a - Controle do fluxo de cargas.
- b - Controle do excesso de peso sobre eixos.
- c - Controle fiscal.

### **2.4.1 Classificação dos sistemas de pesagem rodoferroviários quanto a conversão e aquisição de massa**

Os sistemas de pesagem rodoferroviários comumente definidos como balanças de pesagem rodoferroviária são constituídos de:

a - Uma plataforma de rodagem onde o veículo ou vagão é estacionado para que seja feita a aquisição e leitura do valor de sua massa. A capacidade máxima de carregamento fica em torno das 80 toneladas para as plataformas rodoviárias e de 150 toneladas para as plataformas rodoferroviárias. A plataforma compõe uma parte do instrumento de medida, quer seja tendo um sistema de alavancagem redutora de forças, ou se apoiando inteiramente sobre células de carga.

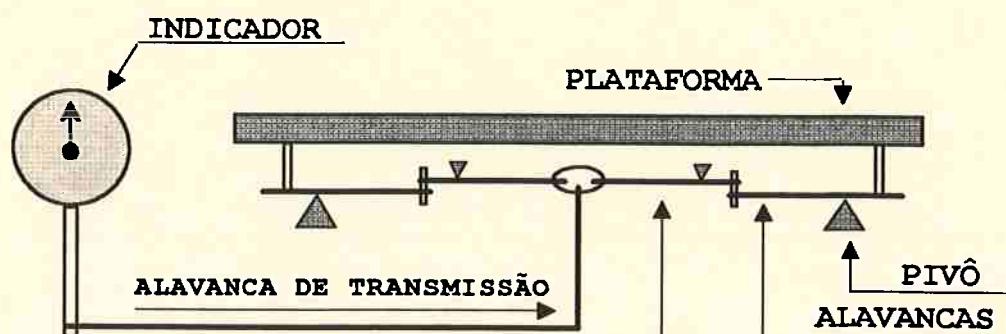
b - Instrumento de pesagem. O instrumento de pesagem está ligado mecanicamente ou eletronicamente à plataforma de pesagem. Pode ser de equilíbrio automático, semi-automático ou manual. Este instrumento de pesagem incorpora o dispositivo mostrador e indicador do peso.

c - Instrumento de impressão e autentificação, sendo o equipamento de impressão e autentificação do valor da pesagem.

### **2.4.2 Sistemas rodoferroviários mecânicos para pesagens estáticas**

São sistemas que utilizam escala mecânica de engenharia e braços mecânicos ou relógios mecânicos como indicadores de peso. A força peso exercida pela carga sobre a plataforma de pesagem é dividida por um sistema de alavancas até um valor reduzido, para então ser transmitida ao braço mecânico ou relógio indicador de peso.

Os elementos principais são: alavancas, pivôs e o relógio ou braço mecânico indicador do peso.



**Figura 2.2 - Diagrama funcional de sistema mecânico de pesagem**

Alavancas são os elementos rígidos que transmitem e reduzem a força peso até o elemento indicador de peso.

O perfil das mesmas pode ser tubular ou linear. Existem três tipos funcionais de alavancas: alavanca de carga, alavanca longitudinal e alavanca transmissora.

Alavanca de carga tem como função fazer a primeira transmissão de força, no sentido transversal à plataforma, assim como também executar a primeira redução de força. Esta redução é normalmente da ordem de 1:5 nas lineares e de 1:10 na tubulares. Geralmente são utilizadas 8 alavancas lineares nas balanças denominadas lineares e 4 alavancas tubulares nas balanças denominadas tubulares.



Alavanca longitudinal tem como função a captação dos esforços das alavancas de carga para convergir e reduzir estes esforços no centro da balança. A redução é normalmente da ordem de 1:10 nas balanças lineares e de 1:40 nas balanças tubulares. Normalmente, as balanças lineares utilizam 4 alavancas classificadas em primeira longitudinal e segunda longitudinal, montadas duas de cada lado convergindo para o centro.

Alavanca transmissora tem como função transmitir o esforço já bastante reduzido para a unidade indicadora de peso. Normalmente, esta alavanca se localiza no centro da balança e na posição transversal a mesma. Sua redução na maioria dos casos é de aproximadamente 1:5.

Nas figuras 2.3 e 2.4 são mostrados diagramas físicos da constituição mecânica das alavancas mencionadas, juntamente com os vínculos (pivôs) e as ligações mecânicas articuladas.

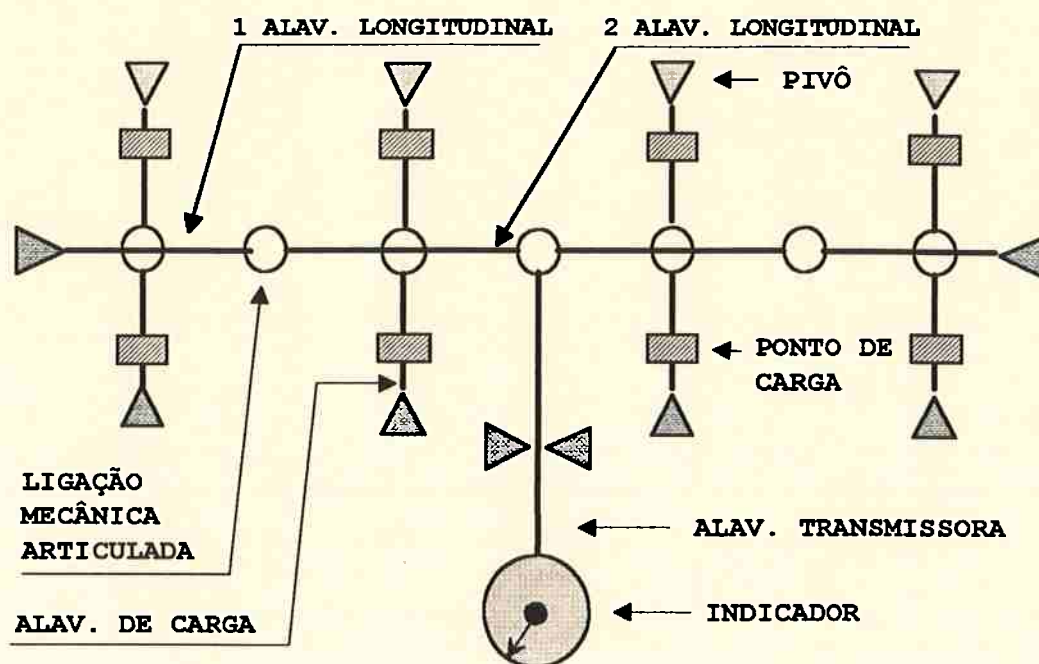


Figura 2.3 - Sistema de pesagem mecânica com alavancas lineares

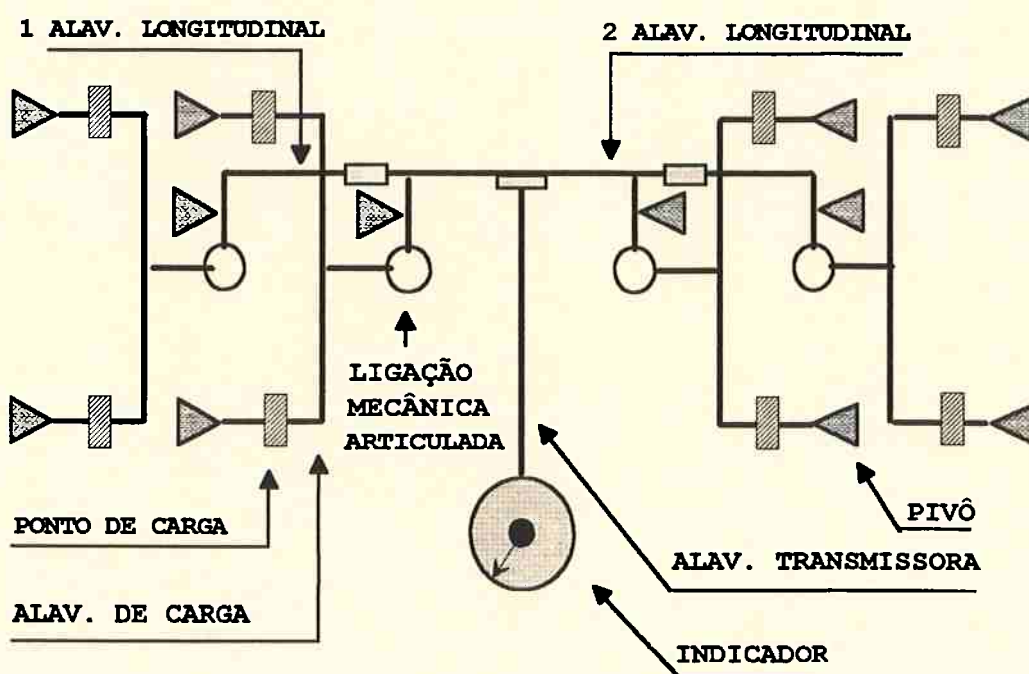


Figura 2.4 - Sistema de pesagem mecânica com alavancas tubulares

### 2.4.3 Sistemas rodoferroviários híbridos para pesagens estáticas

Os sistemas híbridos de pesagem se utilizam do sistema de alavancagem e da mesma estrutura civil dos sistemas mecânicos. São obtidos através da instalação de células de carga de tração, no tirante de ligação ou a haste de peso correção, de maneira que a mesma seja submetida à força reduzida e proporcional ao peso aplicado sobre a plataforma. A força peso é então convertida em um sinal elétrico, que por sua vez é amplificado, filtrado e processado pelo indicador digital. Geralmente, as células de carga são de 500 ou 1.000 kg de fundo de escala.

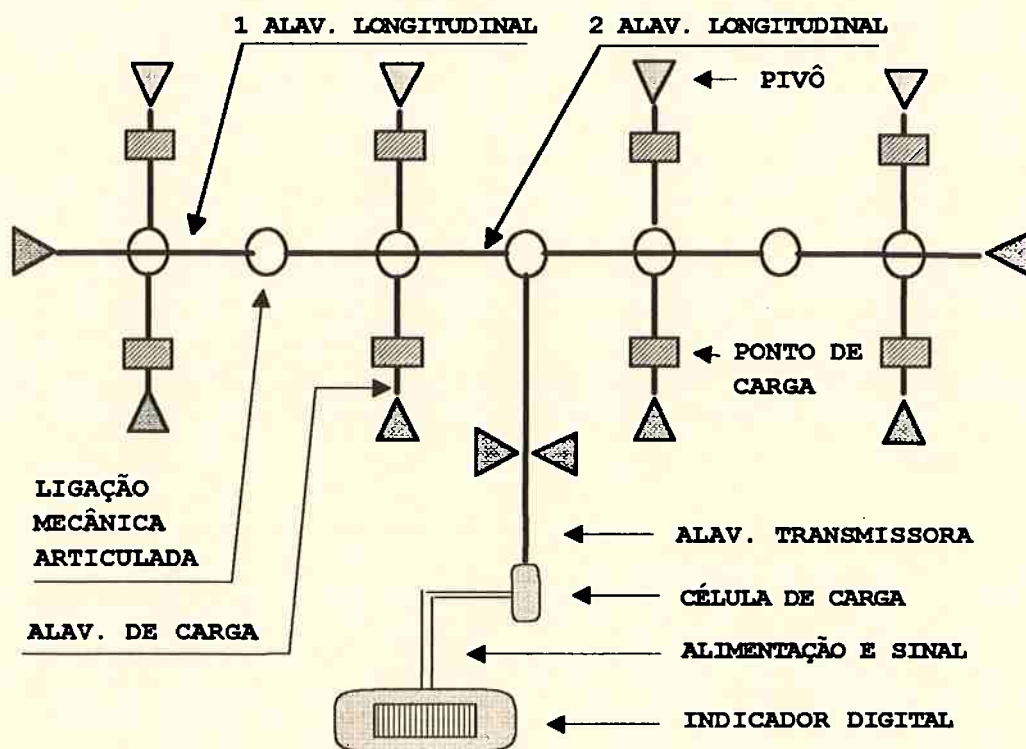


Figura 2.5 - Sistema híbrido de pesagem com alavancas lineares

#### 2.4.4 Sistemas rodoferroviários eletrônicos para pesagens estáticas

Os sistemas eletrônicos dispensam os sistemas mecânicos de alavancas, pivôs, articulações e fossos. Nestes sistemas são instaladas células de carga, tipo compressão de alta capacidade, que recebem a força peso diretamente da plataforma sem nenhuma redução. Os sinais elétricos de todas as células de carga são convenientemente interligados nas caixas de junção e depois enviados ao indicador digital, de maneira similar aos sistemas híbridos, para que este faça a leitura do peso sobre a plataforma.

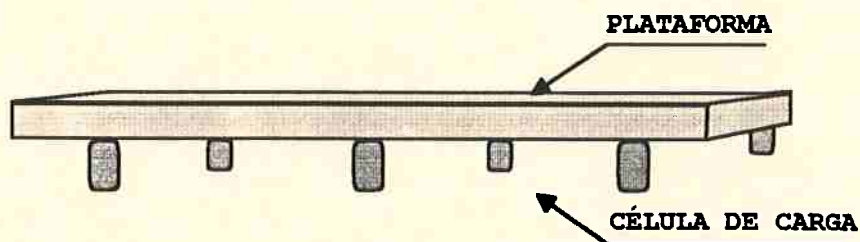
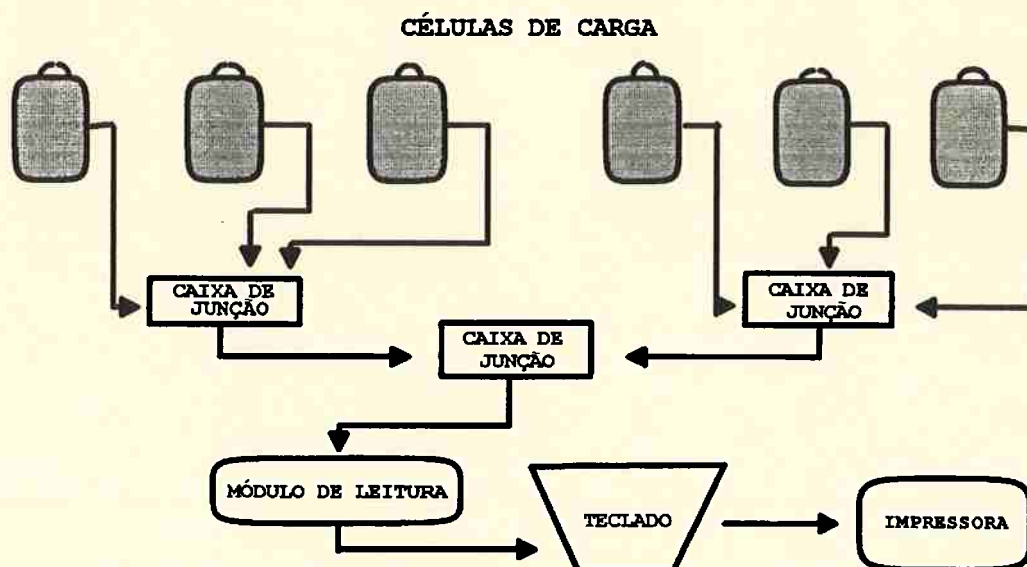


Figura 2.6 - Sistema eletrônico de pesagem



**Figura 2.7 - Esquema funcional de um sistema eletrônico de pesagem**

#### 2.4.5 Especificação quanto a capacidade de carga e precisão

Em cada um dos três tipos de equipamentos e sistemas, mecânicos, híbridos e eletrônicos, a precisão está relacionada às características tecnológicas e construtivas do projeto e somada a qualidade e periodicidade da manutenção empregada.

No Brasil, todo fabricante de instrumentos e sistemas de medir massas necessita submeter qualquer novo produto a testes no **Inmetro**, que normaliza, fiscaliza e emite uma Portaria que autoriza e estabelece os meios de uso para a aplicação a que se destina o equipamento. Cabe ao fabricante do equipamento ou sistema garantir o perfeito funcionamento dentro das normas estabelecidas, independentemente dos itens necessários a sua fabricação.

O item 10 da portaria MITC 63/44 divide instrumentos de medir massas em dois grandes grupos, de precisão e de não precisão, e normaliza os limites de erro máximo para os ensaios iniciais e periódicos.

**Tabela 2.1 - Normalização de erro máximo em função do tipo de balança**

BALANÇA	CARGA	ERRO MÁXIMO TOLERADO (PARA MAIS E MENOS)	
		EXAME INICIAL	AFERIÇÃO PERIÓDICA
DE QUALQUER CONSTRUÇÃO EXCETO AS DE PRECISÃO	DE 200g A 5kg INCLUSIVE	1/500 DO VALOR DA CARGA	1/250 DO VALOR DA CARGA
	MAIOR QUE 5kg E ATÉ 7,5kg INCLUSIVE	10g	20g
	SUPERIOR A 7,5kg	1/750 DO VALOR DA CARGA	1/375 DO VALOR DA CARGA
DE PRECISÃO	INFERIOR E ATÉ 10g INCLUSIVE	1/1000 DO VALOR DA CARGA	1/500 DO VALOR DA CARGA
	SUPERIOR A 10g E ATÉ 20g INCLUSIVE	10g	20g
	SUPERIOR A 20g E ATÉ 100g INCLUSIVE	1/2000 DO VALOR DA CARGA	1/1000 DO VALOR DA CARGA
	SUPERIOR A 100g E ATÉ 200g INCLUSIVE	50g	100g
	SUPERIOR A 200g E ATÉ 4kg INCLUSIVE	1/4000 DO VALOR DA CARGA	1/2000 DO VALOR DA CARGA
	SUPERIOR A 4kg E ATÉ 10kg INCLUSIVE	1g	1g
	SUPERIOR A 10kg	1/10000 DO VALOR DA CARGA	1/5000 DO VALOR DA CARGA

### 2.4.5.1 Erro máximo tolerado

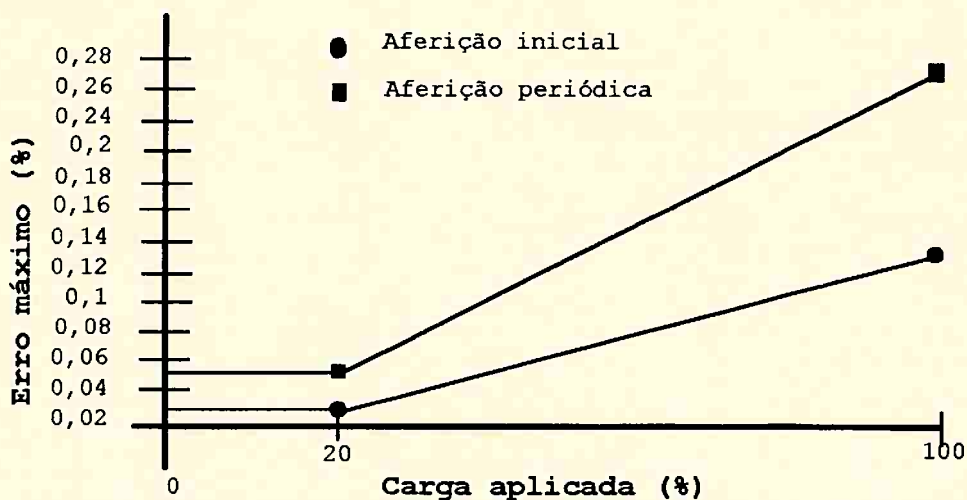
Os itens 7.13 e 7.14 da mesma portaria normalizam os ensaios para os exames iniciais e as aferições periódicas. Segundo esses itens os ensaios serão efetuados em três estágios:

- a - Primeiro estágio: ensaio com carga máxima admissível.
- b - Segundo estágio: ensaio com carga de  $1/2$  da máxima carga admissível.
- c - Terceiro estágio: ensaio com carga de  $1/5$  da máxima carga admissível.

O item 10.3 normaliza como erro máximo tolerado (tanto para mais ou menos) em balanças de não precisão e para cargas superiores a 7,5kg. O erro é aferido em dois exames distintos:

- a - No exame inicial o erro máximo permitido é de  $1/750$  do valor da carga.
- b - Nos exames periódicos o erro máximo permitido é de  $1/375$  do valor da carga.

O gráfico a seguir representa as curvas correspondentes aos erros tolerados para as aferições iniciais e periódicas.



**Figura 2.8- Erro máximo tolerado para aferição inicial e periódica**

#### 2.4.5.2 Fator de dispersão

O item 7.28 da Portaria MTIC 63/44 define fator de dispersão de um sistema a uma determinada massa como o quociente do desvio padrão de uma série de observações pela média aritmética dos valores medidos nesta série, sendo todas essas medidas realizadas com a referida massa.

O mesmo item define por curva de frequência um gráfico em que as abcissas dão as indicações do sistema, e as coordenadas o número de vezes que as respectivas indicações foram observadas. Para que a curva de frequência seja obtida, deve-se repetir um número adequado de vezes e observar os respectivos erros.



### 2.4.5.3 Histerese

De acordo com o item 7.26 da Portaria MTIC 63/44, coloca-se na plataforma do sistema "balança" uma série de cargas crescentes de zero até a carga máxima e com a diferença de 1/10 dessa carga, e em seguida efetua-se o descarregamento sucessivo.

Para cada valor no carregamento ou descarregamento observa-se o correspondente erro do sistema, o qual deverá ser menor ou igual ao máximo tolerado para a respectiva massa.

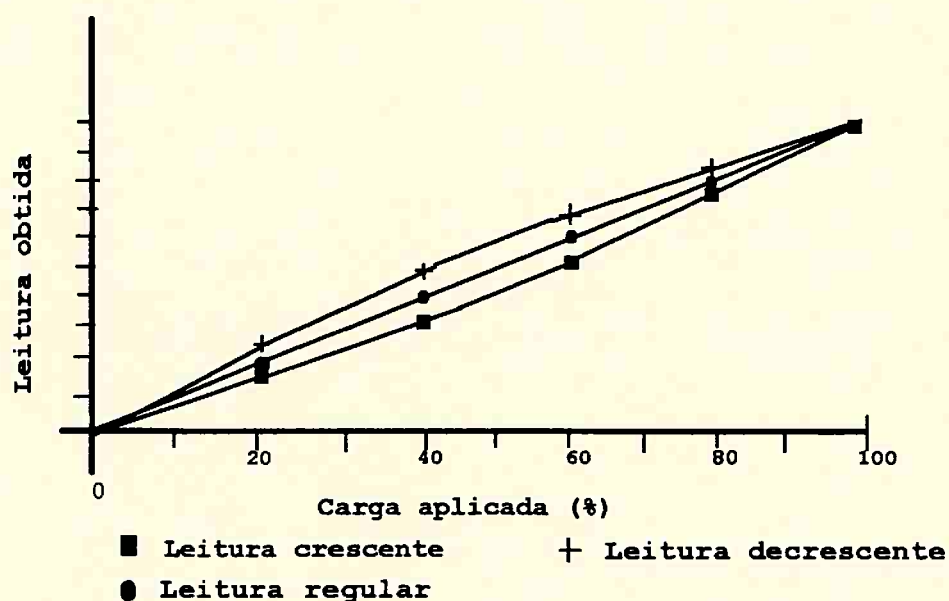


Figura 2.9 - Histerese típica de um sistema de pesagem

#### 2.4.5.4 Influência da posição da carga

O item 7.19 da mesma Portaria especifica ser necessário que se coloque pelo menos quatro padrões de massa em quatro posições excêntricas.

A excentricidade deve ser igual a 1/4 da maior dimensão horizontal da balança, não devendo, porém, a base desses padrões (peso) ultrapassar os limites desta.

A figura seguinte ilustra este posicionamento em uma plataforma.

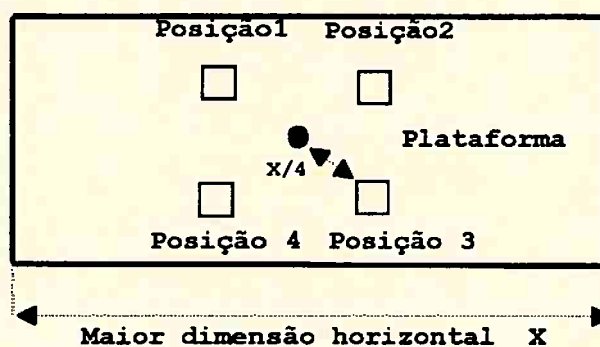


Figura 2.10 - Posicionamento das cargas

#### 2.4.6 Sistemas de pesagem rodoferroviários estáticos

O controle do fluxo de cargas rodoferroviárias em ambientes abertos ou mesmo restritos como portos é efetuado por sistema mecânicos, híbridos ou eletrônicos que, independentemente da plataforma sistêmica disponível, oferecem poucos recursos operativos.

Basicamente, existem dois tipos de operações por vias terrestres:

a - Via terrestre rodoviária com a retirada ou chegada de carga no setor.

b - Via terrestre ferroviária com a retirada ou chegada de carga no setor.

**Tabela 2.2 - Ilustrativo das operações do controle fluxo de carga**

<b>EVENTO</b>	<b>RETIRADA DE CARGA POR VIA RODOVIÁRIA</b>	<b>CHEGADA DE CARGA POR VIA RODOVIÁRIA</b>	<b>RETIRADA DE CARGA POR VIA FERROVIÁRIA</b>	<b>CHEGADA DE CARGA POR VIA FERROVIÁRIA</b>
1	PESAGEM DE TARA DO VEÍCULO	PESAGEM DO VEÍC. CARREGADO	PESAGEM DO VAGÃO	PESAGEM DO VAGÃO
2	EMISSÃO DE DOC. PROVISÓRIO	EMISSÃO DE DOC. PROVISÓRIO	CONSULTA REGISTRO DE PESO DO VAGÃO	CONSULTA REGISTRO DE PESO DO VAGÃO
3	CARREGAMENTO DO VEÍCULO	DESCARGA DO VEÍCULO	EMISSÃO DE DOC. DE FECHAMENTO	EMISSÃO DE DOC. DE FECHAMENTO
4	PESAGEM DO VEÍCULO CARREGADO	PESAGEM DE TARA DO VEÍCULO	REPETE A OPERAÇÃO PARA TODOS VAGÕES	REPETE A OPERAÇÃO PARA TODOS VAGÕES
5	EMISSÃO DE DOC. DE FECHAMENTO	EMISSÃO DE DOC. DE FECHAMENTO	DESCARGA DA COMPOSIÇÃO	CARREGAMENTO DA COMPOSIÇÃO

#### **2.4.7 Classificação dos sistemas rodoferroviários estáticos quanto ao grau de automação**

Os sistemas rodoferroviários estáticos são classificados em duas gerações quanto ao grau de automação: sistema de processo manual e sistema de processo automático.

É o escopo deste trabalho apresentar uma terceira geração diferenciando um sistema integrado de um processo inteiramente automatizado.

#### **2.4.7.1 Sistema rodoferroviário estático de processo manual**

Sistema estático de processo manual é aquele que possui índice zero de automação, sendo que o processo de pesagem tem total dependência da operação humana. O veículo ou o vagão da composição ferroviária adentra sobre a plataforma, estacionando quando o condutor julgar que está corretamente posicionado. Cabe ao operador do posto de pesagem verificar se o veículo ou o vagão da composição ferroviária está corretamente posicionado ou não. A documentação e tratamento dos dados também é efetuada manualmente pelo operador do posto. As principais características são:

- a - Processo lento.
- b - Pouca confiabilidade.
- c - Vulnerabilidade a erros ocasionais ou intencionais.
- d - Armazenamento e transferência manual de dados.
- e - Dependência total da operação humana.

#### **2.4.7.2 Sistema rodoferroviário de processo automático**

Processo automático é aquele em que o sistema tem capacidade de operação autônoma para realizar com relativa confiabilidade a tarefa **POSICIONAMENTO E AQUISIÇÃO DO PESO**. O sistema é capaz de identificar automaticamente o início da primeira tarefa, além de supervisionar a correta execução da mesma. A segunda tarefa

pode ou não ser informatizada, dependendo do índice de automação implantado. Suas principais características são:

- a - Confiabilidade e precisão na aquisição de dados.
- b - Relativa imunidade a equívocos intencionais e acidentais.
- c - Possibilidade de armazenamento e transferência de dados para um sistema centralizado, quando a tarefa **DOCUMENTAÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS** é informatizada.
- d - Capacidade de operação autônoma.

#### **2.4.7.3 Necessidade da implantação de um Sistema Integrado de Processo de Pesagem**

Atualmente, o controle do fluxo de cargas é efetuado através de postos de pesagens distribuídos em toda área geográfica de um complexo de armazenamento e distribuição. Este controle é efetuado através de pesagens e de um exaustivo fluxo de documentação entre os postos, setores de carga e descarga de veículos e vagões, setores administrativos e as companhias transportadoras, importadoras e exportadoras.

Portanto, os atuais sistemas de pesagens possuem três deficiências que requerem um estudo de âmbito bastante aprofundado:

- a - Os sistemas estão sujeitos a equívocos acidentais ou intencionais durante o processo de aquisição da massa do veículo, ou seja, a pesagem pode ser efetuada com desvios significativos em relação ao valor real.
- b - A documentação dos veículos, no caso caminhões, pode ser extraviada ou adulterada. Por causa da falta de condições operativas, a prática mostrou ser

inexistente a fiscalização e a confrontação da placa do veículo e da documentação apresentada.

c - Existe uma grande morosidade devido ao excesso de documentação escrita utilizada no controle da movimentação de cargas e cobrança.

Diante de tais fatos torna-se necessária a integração do sistema portuário de pesagem como um todo. Cada posto de pesagem deve operar integrado a uma rede gerenciadora de dados que coordena, supervisiona e controla as atividades dos demais postos de pesagens, através de um sistema distribuído autônomo, onde postos de pesagem de custo mais elevado tenham a função restrita à pesagem propriamente dita, não se designando as partes de cadastramento referente ao sistema de banco de dados.

No recente trabalho "Automação e Informatização Aplicadas a Controle e Supervisão de Processos de Pesagem" [30] objetivou-se a rede gerenciadora mantendo-se, no entanto, as características e funções operativas originais dos postos de pesagem em termos de cadastramento dos dados. Apesar da modernização introduzida verificou-se a necessidade de implementação de pontos que solucionem os seguintes problemas:

a - Morosidade do processo em função dos gargalos existentes, obrigando o usuário a permanecer em torno de duas horas nas filas para medição de um carregamento ou descarregamento.

b - Supervisão e controle do processo de pesagem garantindo confiabilidade à pesagem e também confiabilidade ao sistema, uma vez que o desempenho de sensoriamento óptico empregado a céu aberto demonstrou ser sujeito a umidade,

temperatura e interferência eletromagnética, e tem apresentado necessidade de minimizar a manutenção corretiva.

c - Eventuais equívocos ocasionados pelos operadores, uma vez que os mesmos têm múltiplas funções como fiscalização do processo, manipulação dos dados, orientação do tráfego e atendimento a administração quando solicitados.

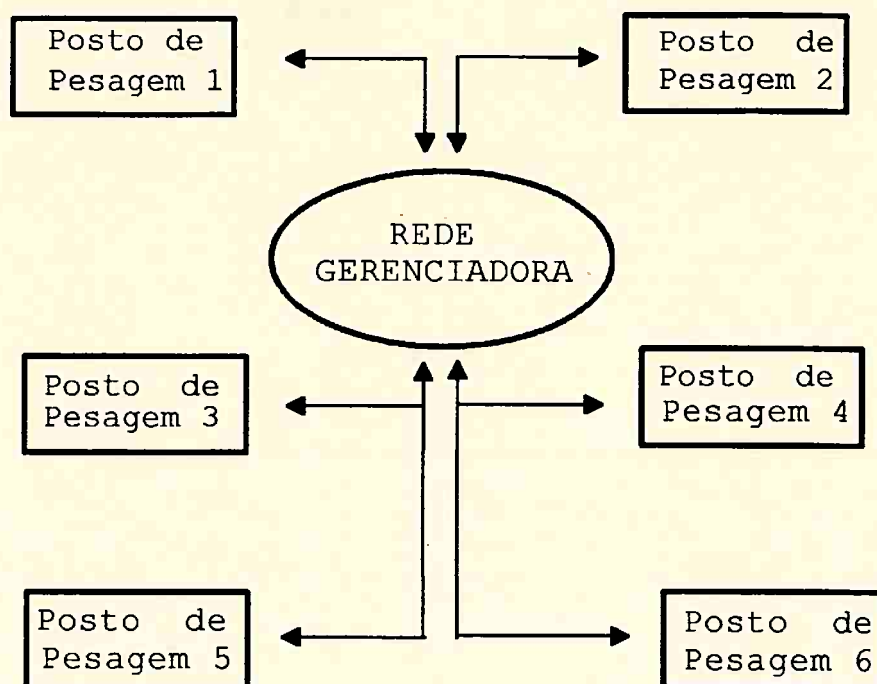
Um Sistema Integrado de Pesagem Portuário visa, portanto, três macro objetivos:

a - Total confiabilidade no processo de pesagem.

b - Otimização dos recursos homens/máquinas através do aumento de eficiência dos processos de pesagens.

c - Otimização do fluxo de veículos dentro das áreas de carregamento, descarregamento e armazenamento.

O Sistema Integrado de Pesagem Portuário baseia-se em Postos de Pesagens Automáticos e Informatizados que possam estar ligados a uma rede gerenciadora.



**Figura 2.11 - Sistema Integrado de Pesagem**

O fluxo de transportes de carga dentro de uma área portuária depende de uma série de fatores, que incluem a metodologia sistêmica adotada e os recursos disponíveis para carregamento, descarga e o próprio sistema de pesagens portuário existente. Neste último item, até a distribuição geográfica dos postos de pesagens interfere em uma melhor ou pior otimização do processo como um todo. O objetivo desse trabalho é resolver estes problemas levantados em qualquer condição, através de postos de cadastramento.



## ***Capítulo 3***

---

### **TRATAMENTO DE SINAIS E DADOS PERTINENTES AO PROCESSO DE PESAGEM**

---

#### **3.1 Introdução**

A primeira etapa para se desenvolver um Sistema Integrado de Pesagem Rodoferroviário para ambientes portuários é o desenvolvimento de um Posto de Pesagem Autônomo que possa atender três características básicas:

a - Operação automática, com capacidade de reconhecimento de início e término de pesagem tanto para processos estáticos quando o sistema for projetado para pesagens estáticas, como para processos em movimento quando o sistema for projetado para pesagens em movimento, garantindo total confiabilidade.

b - Tratamento informatizado dos dados relativos a pesagem.

c - Possibilidade de ligação a uma rede gerenciadora.

Conclui-se, portanto, que os sistemas mecânicos para pesagens rodoferroviárias, ou seja, balanças rodoferroviárias mecânicas convencionais, não se adequam a implantação de um Sistema Integrado de Pesagem Rodoferroviário, uma vez que não permitem tratar de maneira automática e informatizada o valor do peso durante

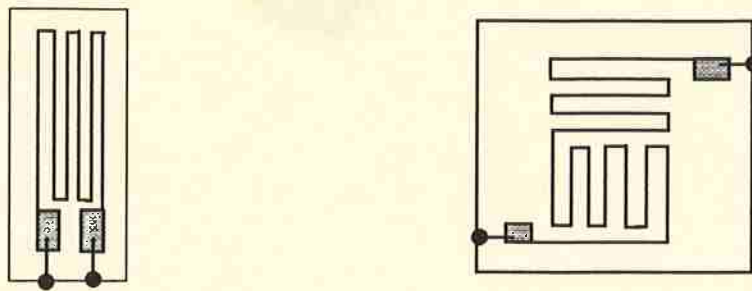
o processo. Para o desenvolvimento de um Posto de Pesagem Autônomo necessita-se, como equipamento de base, de uma balança rodoferroviária eletrônica ou híbrida.

Assim sendo, quando um determinado complexo portuário já possui balanças mecânicas, a solução mais viável economicamente é a hibridização das próprias balanças através da instalação de uma célula de carga na alavanca final de transmissão. A hibridização permitirá, como veremos adiante, que o sistema trate e analise os sinais do peso relativos ao processo de pesagem. Esta última solução tem se mostrado a mais conveniente diante da premente necessidade de modernização dos Sistemas Portuários de Pesagens a um baixo custo, pois elimina as partes mais onerosas do investimento que são as obras civis de fundações e a aquisição integral de uma nova balança do tipo sem fosso.

Obviamente, quando o mesmo complexo portuário dispuser de balanças híbridas ou eletrônicas, não existirá a necessidade de investimentos nesta etapa de implementação do Sistema Integrado de Pesagem.

### **3.2 Tratamento de Sinais**

Existem vários tipos de sensores, strain gages (extensômetros), capacitivos, piezoelétricos etc, que convertem a força peso em um sinal elétrico proporcional à intensidade da força. No caso de pesagem de grande porte, como nas balanças rodoferroviárias, o tipo de sensor até hoje mais empregado é o strain gage.



**Figura 3.1 - Modelos de strain gage**

O strain gage, cujos modelos mais empregados são ilustrados na figura 3.1, compõe a base das células de carga cuja capacidade máxima é de 500 kg a 1000 kg para balanças híbridas rodoferroviárias e pode chegar a 40.000 kg para balanças eletrônicas. A montagem é realizada em ponte de Wheatstone.

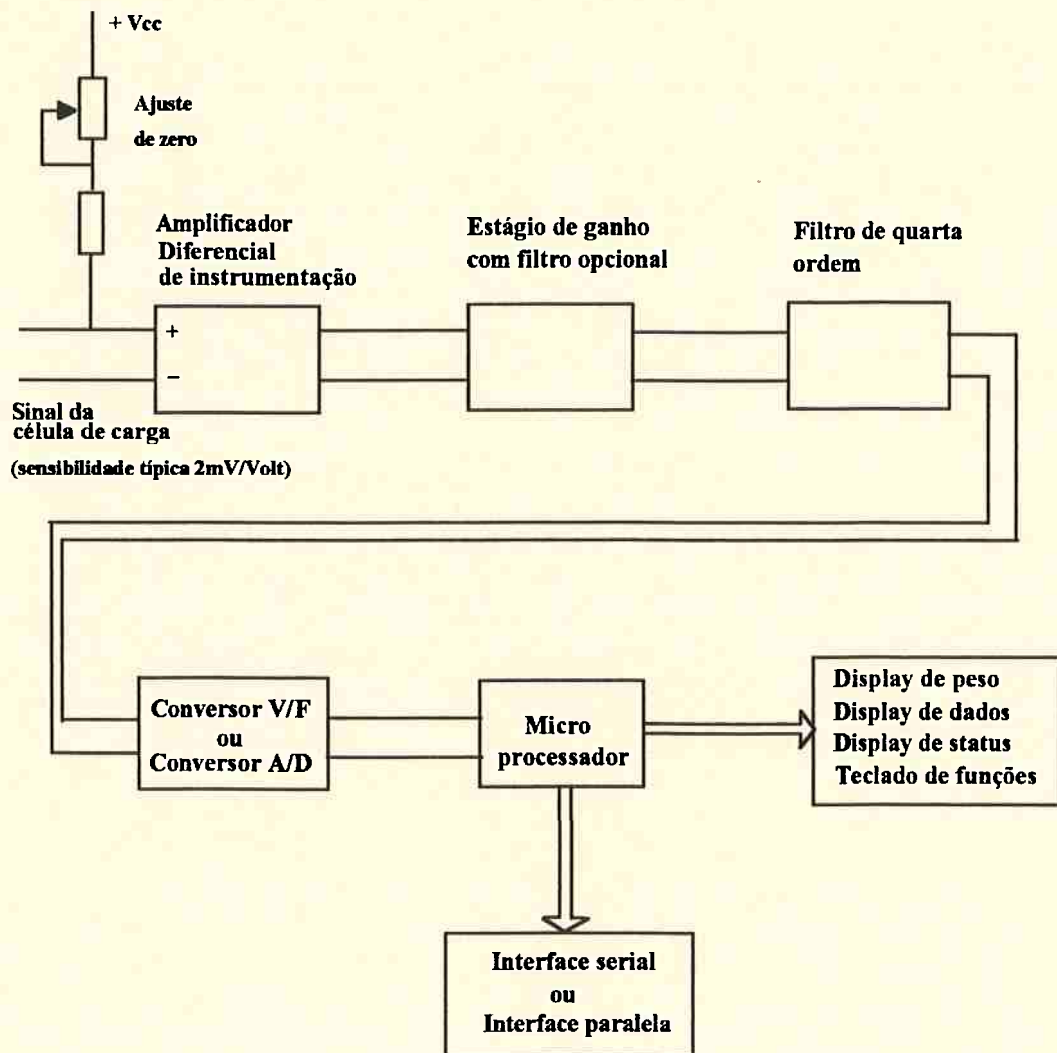
Uma célula de carga converte a força peso em um sinal elétrico proporcional à sua intensidade. Este tipo de sinal apresenta dois problemas básicos:

- a - O nível de tensão é muito baixo, da ordem de micro volts.
- b - A resposta do sinal elétrico de uma célula de carga à variação da força peso é rápida e, portanto, o sinal elétrico é instável (oscilante) devido a vários fatores, como por exemplo as trepidações na plataforma causadas pelas vibrações do motor do veículo.

Assim sendo, independentemente do modelo e do fabricante de célula de carga e de balanças, o sinal lido na saída de uma célula de carga de uma balança híbrida

ou de uma caixa de junção de uma balança eletrônica deve passar por um tratamento preliminar para que possa ser mostrado com relativa estabilidade num indicador digital.

O diagrama esquemático do processamento básico do sinal peso obtido através de uma célula de carga para um sistema genérico é:



**Figura 3.2 - Diagrama esquemático de monitor de pesagem**

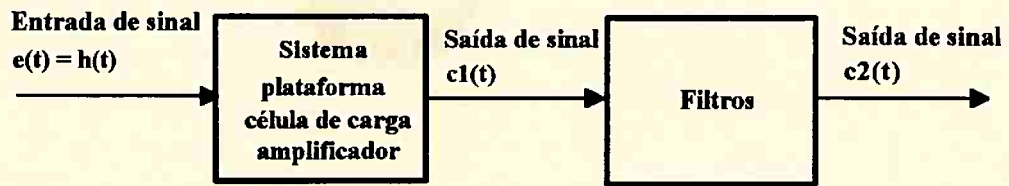
Percebe-se, portanto, que existe um atraso entre o sinal obtido na célula de carga e o sinal disponível para leitura no display ou na interface serial ou paralela. Esse atraso é causado pelos filtros analógicos e pelo próprio processo de discretização do sinal no conversor A/D (analógico/digital) ou no conversor V/F (tensão/frequência) e no seu tratamento para leitura feito no microprocessador. O estudo no tempo envolvendo esse atraso torna-se necessário, uma vez que o sistema deverá entrar em acomodação num intervalo de no máximo 25% dos correspondentes degraus incrementais que são caracterizados pelas entradas dos eixos do veículo.

A filtragem ditará, conforme a proposta do algoritmo a ser implementado, a metodologia do processo digital necessária para o levantamento da curva de pesagem. A implementação desse algoritmo virá garantir confiabilidade ao sistema.

### **3.2.1 Análise dos resultados obtidos experimentalmente em laboratório**

Primeiramente, foi feito um estudo experimental em laboratório com uma balança de plataforma protótipo que utiliza uma célula de carga modelo "single point" marca Berg Cell com capacidade de 20 kg.

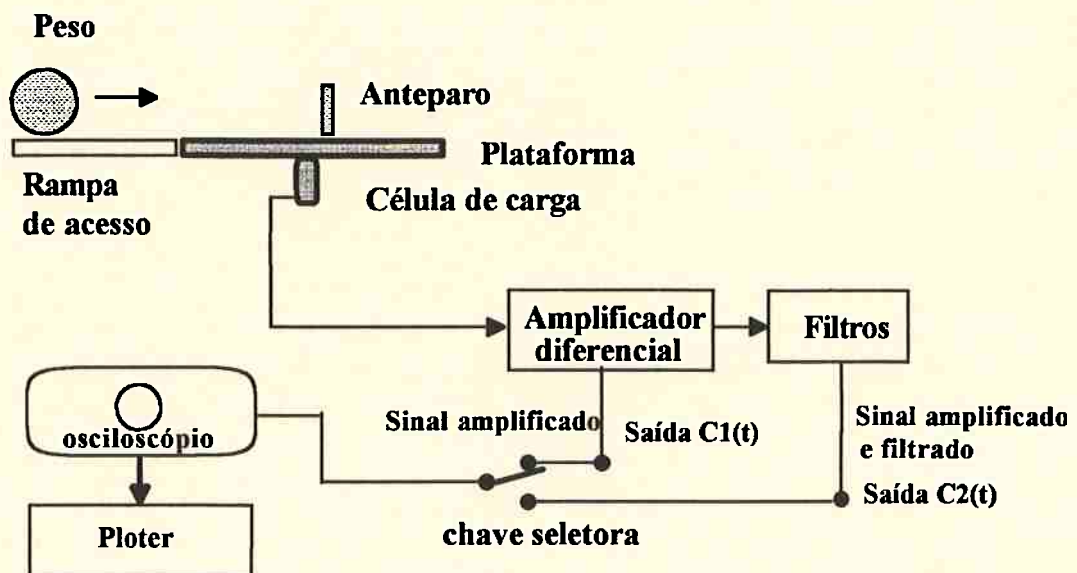
O objetivo deste ensaio em laboratório foi obter dados para efetuar a análise do comportamento dinâmico do conjunto dado pela plataforma, sistemas de transmissão de alavancas, célula de carga, amplificadores de sinal e filtros de saída, quando submetido a uma entrada de peso aproximada da função tipo degrau unitário  $h(t)$ .



**Figura 3.3 - Diagrama de blocos do ensaio efetuado**

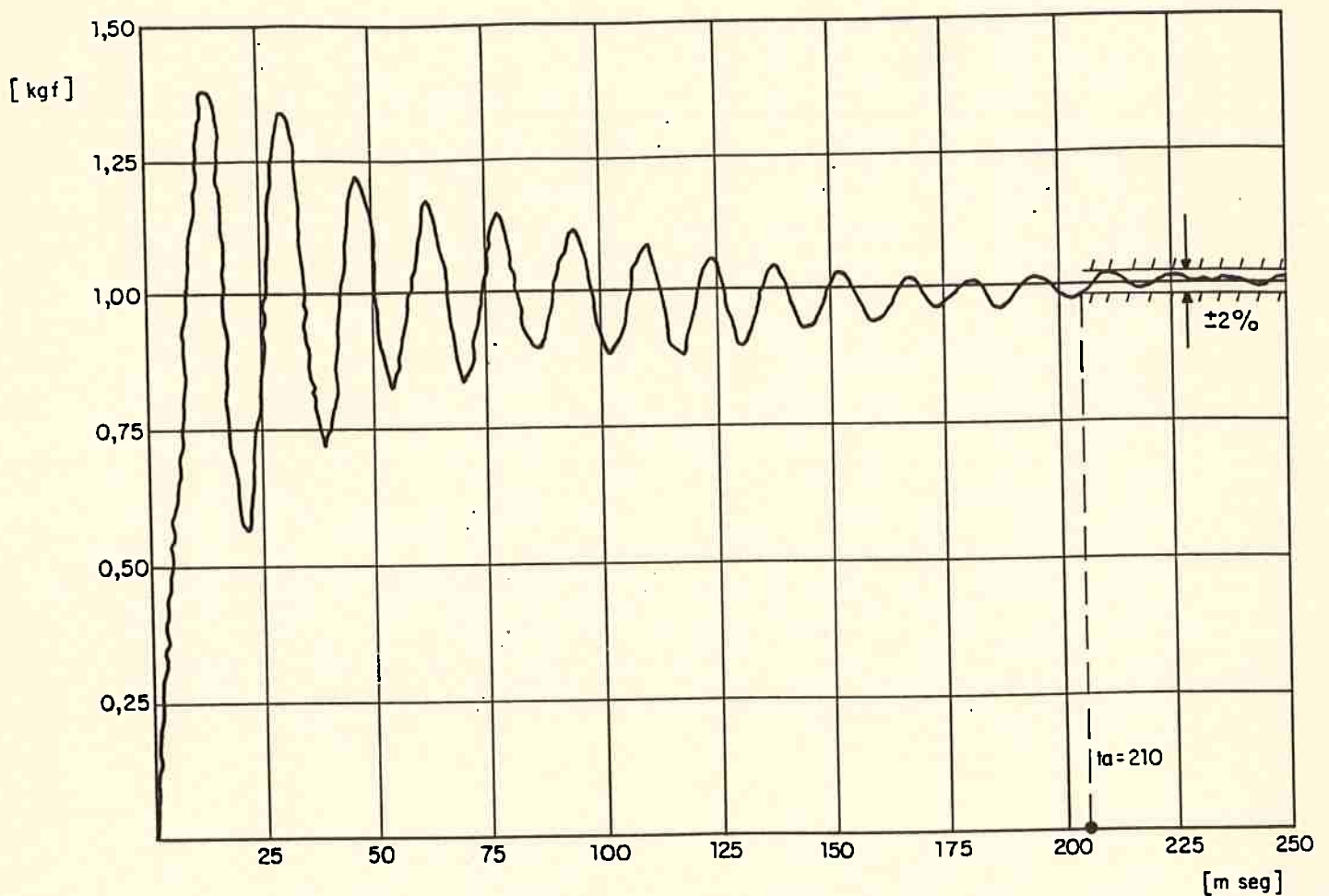
Este ensaio, que considerou inclusive as deformações de um pneu, possui a vantagem de simular em menor escala a entrada real de um eixo de um veículo sobre uma plataforma rodoferroviária.

A figura seguinte ilustra o modelo do ensaio com um peso de aferição de 1 kg.



**Figura 3.4 - Diagrama esquemático do ensaio de célula de carga realizado em laboratório**

O gráfico seguinte foi obtido no ensaio de laboratório conforme o procedimento descrito na (figura 3.4) e registra a saída do sinal  $C_1(t)$ . Ou seja, do sinal amplificado sem nenhuma filtragem prévia. O ensaio foi repetido diversas vezes sobre a plataforma cujo comportamento padrão está mostrado na figura 3.5.



**Figura 3.5 - Sinal de saída  $c_1(t)$  do amplificador diferencial antes do filtro de compensação, obtido em ensaio de laboratório com peso padrão de 1 kg**

Pelos resultados obtidos observamos que a dinâmica da plataforma quando submetida a uma entrada de um peso constante gera uma transmissão de força oscilatória amortecida. Esta é convertida em um sinal elétrico oscilatório amortecido pela célula de carga que, posteriormente, é amplificado. As principais características do sinal lido são:

Tempo de subida aproximadamente igual a 10 ms.

Tempo de acomodação para um erro de regime permanente menor igual a 2% de aproximadamente 210 ms.

Valor de sobre-sinal na ordem de 40%.

Período de oscilação T aproximadamente igual a 15 ms.

Estes resultados indicam que a função de transferência se caracteriza por um sistema de segunda ordem onde:

$$F(S) = \frac{K}{S^2 + 2\zeta W_n S + (W_n)^2} \quad (3.1)$$

com:

$$W_n \cong 420 \text{rd/s}$$

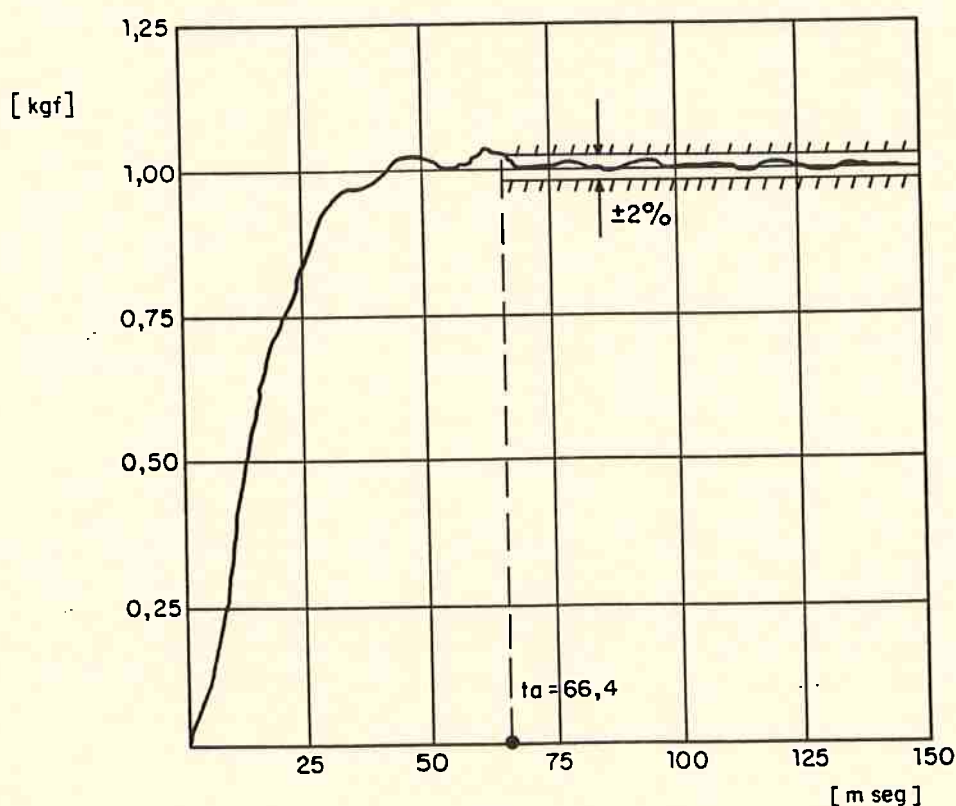
e

$$\zeta \cong 0,32$$



Conclui-se, portanto, que é necessária a presença de um filtro de compensação que reduza o tempo de acomodação para um valor mínimo e que elimine as oscilações caracterizando pelo ITAE (Integral Time Absolut Error) um sistema de  $\sigma \cong 0,7$ .

O gráfico seguinte indica a saída  $C_2(t)$  obtida após a colocação do filtro de 4<sup>o</sup>



**Figura 3.6 - Sinal de saída do amplificador diferencial após o filtro de compensação, obtido em ensaio de laboratório com peso padrão de 1 kg**

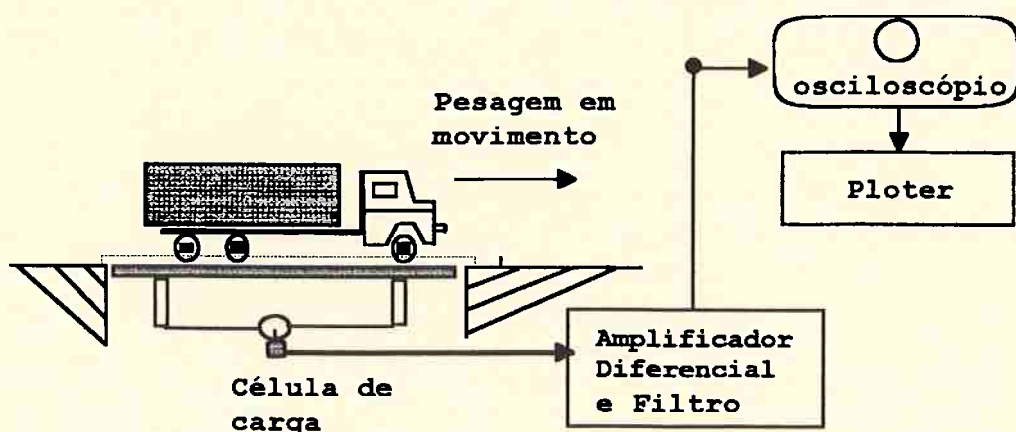
Como se pode notar, a presença de um filtro, como o utilizado no ensaio, garantirá posteriormente a possibilidade da implementação do algoritmo matemático para a caracterização e a confrontação dos sinais de peso referentes a entrada e saída do veículo, a fim de se implementar um sistema confiável.

### 3.2.2 Análise dos resultados obtidos em campo

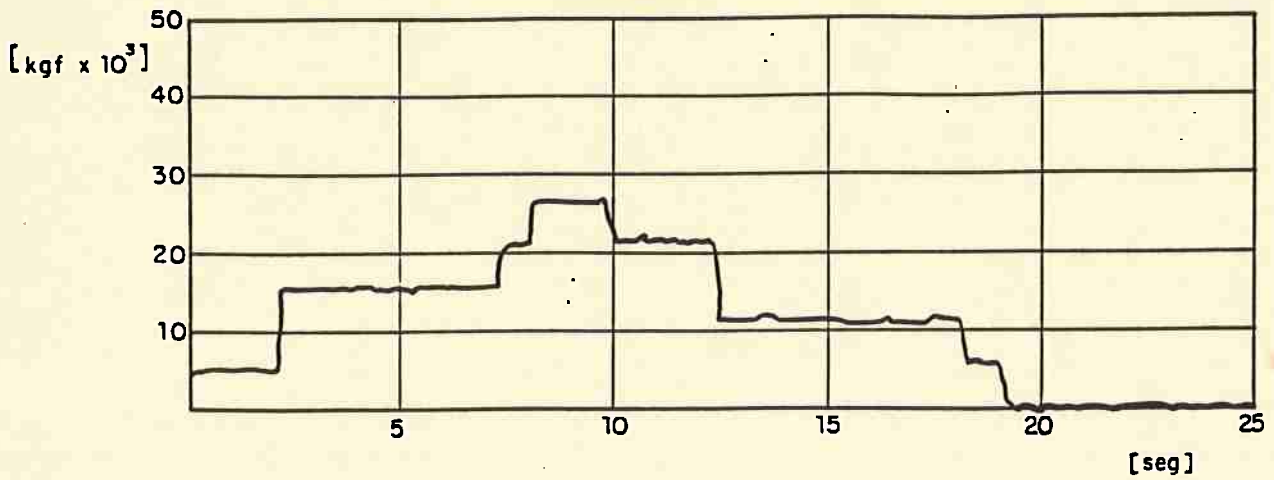
O segundo tipo de ensaio foi efetuado em campo com uma balança rodoviária hibridizada. Neste ensaio foi realizada a análise da resposta do sistema mecânico de transmissão/redução mais célula de carga e sistema de amplificação, de maneira análoga ao ensaio de laboratório. Foram utilizados dois tipos de caminhões, conforme a tabela.

**Tabela 3.1 - Veículos utilizados nos ensaios em campo.**

Marca	n° de eixos	Capacidade de carga	Peso bruto
Mercedes Benz	4	20.000	26.420
Scania	6	30.000	46.500



**Figura 3.7 - Diagrama esquemático do ensaio realizado em campo com balança rodoviária hibridizada**



**Figura 3.8 - Sinal de saída do amplificador após o filtro de compensação em pesagem dinâmica com veículo de 4 eixos**



**Figura 3.9 - Sinal de saída do amplificador após o filtro de compensação em pesagem dinâmica com veículo de 6 eixos**

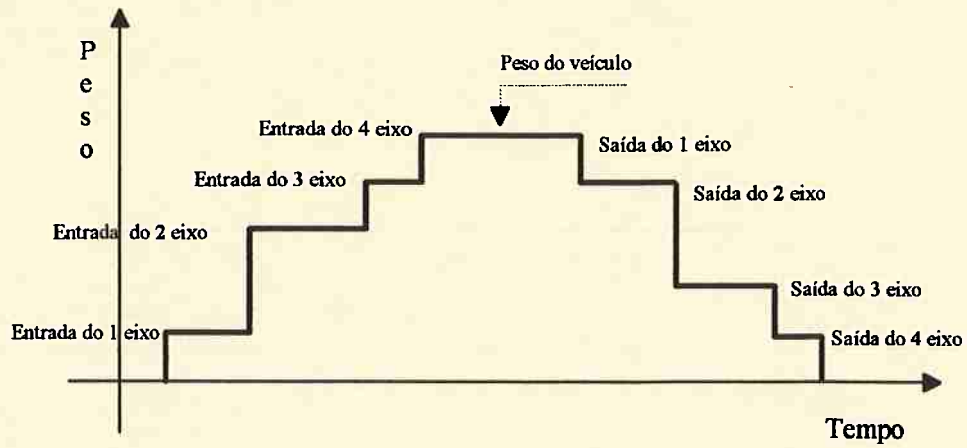
Pelos resultados obtidos em campo (figuras 3.8 e 3.9) observa-se que: respeitando um limite máximo de velocidade, o sistema mecânico de transmissão/redução mais a célula de carga e amplificação respondem às necessidades para a digitalização do sinal num tempo de amostragem de 50 ms.

### **3.3 Necessidade da implementação da curva característica de pesagem**

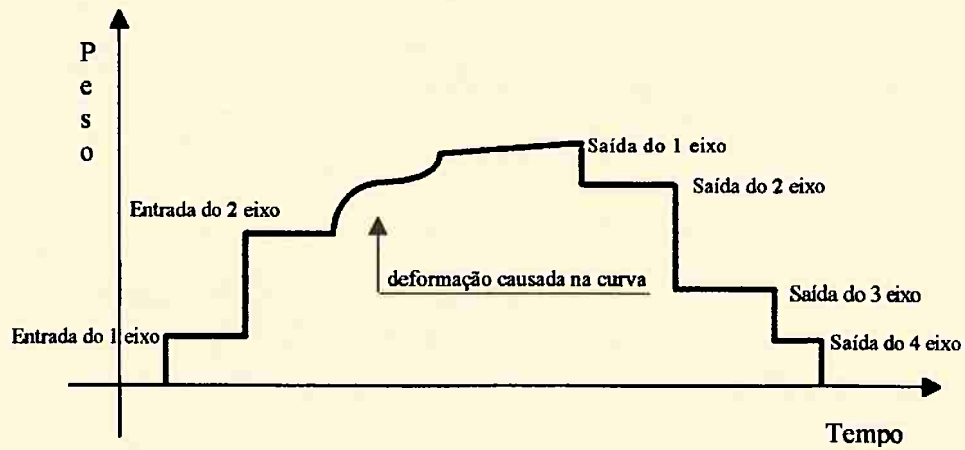
A curva característica de pesagem de um veículo é a função do peso em relação ao tempo, obtida à medida em que os eixos do veículo vão entrando e saindo da plataforma de rodagem. Ela é o instrumento essencial para a identificação de erros nos processos de pesagem em movimento e em pesagens estáticas.

No processo de pesagem contínuo que ocorre sem nenhuma irregularidade, a curva característica de pesagem de entrada deverá corresponder à da saída. O peso registrado para a documentação e oficialização do processo é o valor do patamar máximo, quando o veículo está integralmente sobre a plataforma de pesagem. Cada incremento de carga provocado pela entrada de um eixo na plataforma terá o seu correspondente decremento quando esse mesmo eixo sair da plataforma de pesagem.

Qualquer irregularidade no processo poderá ser identificada através da análise da curva de pesagem. Por exemplo, a deformação causada na mesma devido à força lateral exercida na mureta de proteção, ou a tentativa de registrar como peso do veículo um valor num patamar inferior, ou seja, quando um ou mais eixos estiverem fora da plataforma, aparecerá no registro da curva.

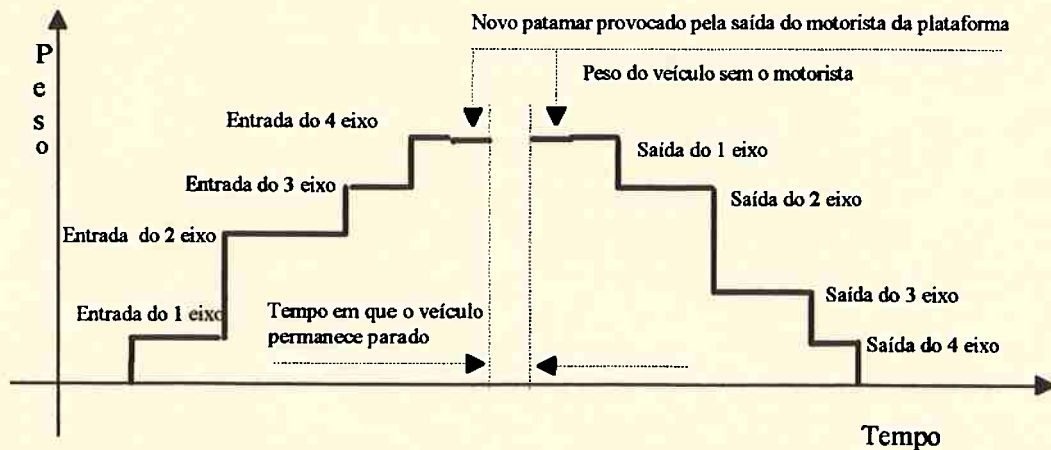


**Figura 3.10 - Exemplo de uma curva característica de pesagem de um veículo de quatro eixos em movimento sobre uma plataforma de pesagem sem cometer nenhum tipo de irregularidade.**



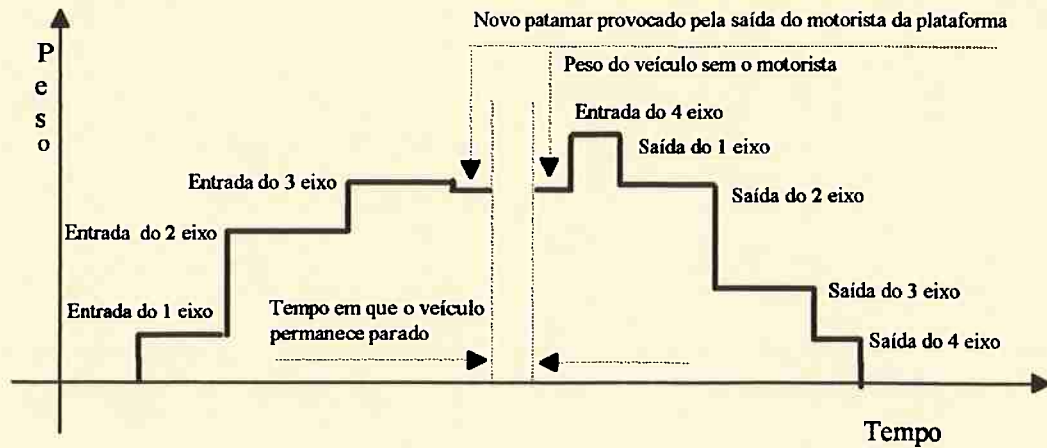
**Figura 3.11 - Exemplo de uma curva característica de pesagem de um veículo de quatro eixos em movimento sobre uma plataforma com um eixo exercendo força lateral na mureta de proteção.**

Num processo estático a curva característica de pesagem é equivalente àquela de um processo em movimento. A única diferença entre ambas, num processo sem equívocos, está no maior intervalo de tempo com que o veículo permanece com todos os eixos sobre a plataforma. Convém ressaltar que neste estado o motorista desce da cabine do veículo e se dirige à plataforma de pesagem. Isto provocará um novo patamar que decrementa em relação ao valor máximo peso do motorista.



**Figura 3.12 - Exemplo de uma curva característica de pesagem de um processo estático com um veículo de quatro eixos.**

Qualquer tentativa de mau posicionamento do veículo, de alívio do carregamento através da tentativa do esforço de forçar uma ou mais rodas contra a mureta de proteção ou de registro do peso antes do veículo estar corretamente posicionado provocará distorções no formato da curva característica de pesagem, como ilustraremos na figura seguinte.



**Figura 3.13 - Exemplo de uma curva característica de pesagem de um processo estático com um veículo de quatro eixos com procedimento irregular.**

Atualmente, nos processos estáticos de pesagens, a oficialização do processo através da emissão do boletim de pesagem é realizada quando o veículo está corretamente posicionado sobre a plataforma e com o condutor do veículo fora da plataforma de pesagem.

### **3.4 Especificação de desempenho do sistema.**

Para que o conjunto mecânico da plataforma de pesagem, incluindo os cutelos e alavancagem, tenha uma vida útil prolongada, a estrutura como um todo não deve sofrer impactos e trancos provocados por grandes variações de velocidade de veículos pesados.

A prática tem demonstrado que a velocidade de 15 km/h pode ser operacionalmente ideal para que o sistema não se degrade. Essa velocidade também atende os quesitos de eficiência e rapidez com que as pesagens devem ser executadas.

Dessa forma, para que o Sistema Integrado de Pesagem atenda essa especificação de desempenho, o seu tempo de resposta entre a aquisição do sinal na célula de carga, amplificação, filtragem e tratamento do mesmo deverá estar adequada com a velocidade envolvida. Esta afirmação vale tanto para pesagens estáticas como para em movimento, pois para ambas é necessário que a curva de pesagem do processo registrado represente com precisão os incrementos e decrementos de peso provocados pela entrada e saída dos eixos do veículo na plataforma.

Para que tal objetivo seja atingido, duas condições devem então ser levadas em conta:

1 - Desempenho do sistema em relação à velocidade máxima quanto ao tamanho do veículo e o tamanho da plataforma.

2 - Desempenho do sistema em relação à velocidade máxima quanto a menor distância entre eixos.

O item (1) diz respeito à velocidade máxima com que um veículo genérico pode adentrar e sair da plataforma, e o tempo necessário para que se estabilize e execute com a precisão especificada a aquisição do valor da massa integral (bruto ou tara) do veículo.

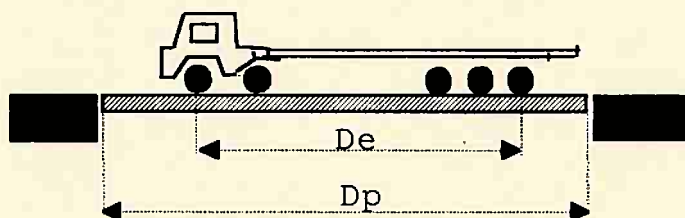


Neste caso, duas variáveis determinam o tempo mínimo de desempenho:

a - O comprimento da plataforma é geralmente de 18 ou 22 metros.

b - O comprimento entre o primeiro eixo e o último eixo de um veículo ( $D_e$ ).

Como a velocidade máxima deve ser determinada para o pior caso, o tipo de veículo escolhido será o que apresenta a maior distância ( $D_e=15m$ ) entre o primeiro e o último eixo.



**Figura 3.14 - Ilustração de distância útil para pesagem dinâmica**

onde:

$D_p$  é o tamanho da plataforma de pesagem.

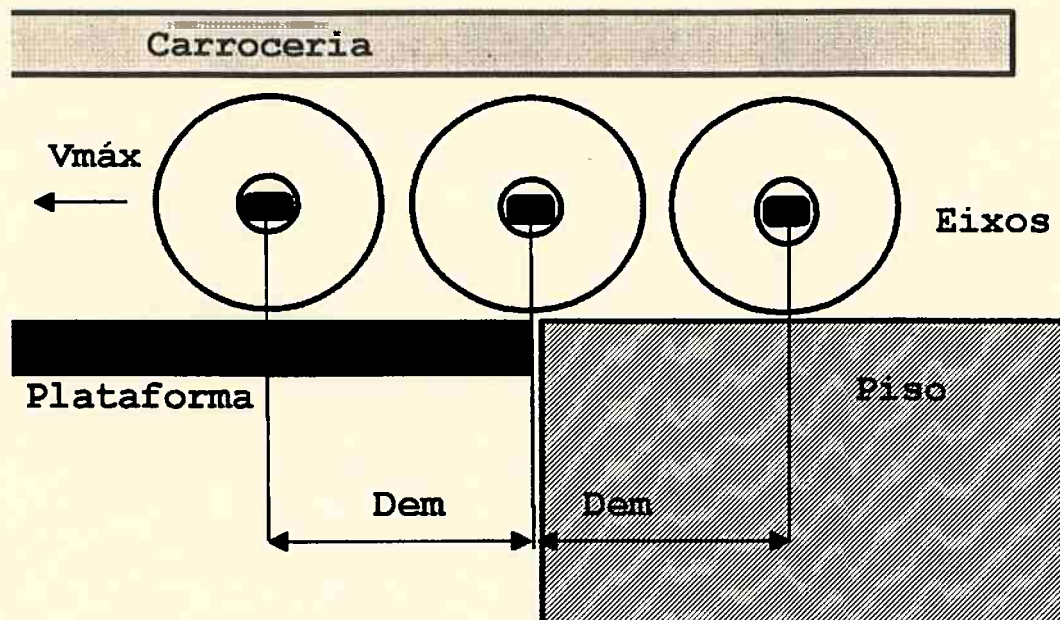
$D_e$  é a máxima distância entre o primeiro e o último eixo de um veículo genérico.

$D_u$  é a distância útil de rodagem (percurso) que um veículo genérico (pior caso) tem para ser pesado integralmente.

$$\text{Assim } D_p - D_e = D_u = [3 \text{ a } 7]m \quad (3.3)$$

Portanto, para o pior caso, 3 metros é a distância considerada para a determinação da velocidade máxima.

O item 2) diz respeito à limitação da velocidade máxima em relação a distância entre os eixos. A principal limitação de velocidade do veículo sobre a plataforma para a determinação da curva de pesagem está relacionada com a menor distância entre eixos ( $D_{me}$ ) de um centro de massa de um veículo genérico. Isto ocorre quando se tem dois ou três eixos de uma carroceria formando um único centro de massa. A figura seguinte ilustra este tipo de situação.



**Figura 3.15 - Ilustração de distância entre eixos**

A distância mínima ( $D_{em}$ ) é de 1200 mm.

Definindo:

Tpe como sendo o tempo de permanência efetivo de pesagem para o pior caso.

$T_{pe1}$  como sendo o tempo com o veículo completamente (relacionado ao item 1) sobre a plataforma.

$T_{pe2}$  como sendo o intervalo de tempo (relacionado ao item 2) entre 2 eixos consecutivos.

Teremos:

$$T_{pe} = \min(T_{pe1}, T_{pe2}) \quad (3.4)$$

$$T_{pe1} = \frac{D_u}{V_{m\acute{a}x}} = \frac{3}{4,16} = 0,72s \quad (3.5)$$

$$T_{pe2} = \frac{D_{em}}{V_{m\acute{a}x}} = \frac{1,2}{4,16} = 0,28s \quad (3.6)$$

Portanto

$$T_{pe} = \min(0,72; 0,28) = 0,28s \quad (3.7)$$

Definindo  $T_{md}$  como sendo o tempo mínimo de desempenho do sistema global temos que:

$$T_{md} < T_{pe} = 0,28s \quad (3.8)$$

Conclui-se, portanto, que pela equação (3.8) para que se possam realizar pesagens dinâmicas ou estáticas com a velocidade máxima de 15 Km/h, os sistemas híbridos ou eletrônicos devem ter um tempo global de acomodao menor que 72 ms.

Sistemas que apresentam 20 amostragens por segundo possibilitarão durante o regime permanente de cada patamar amostragens de pelo menos 4 pontos durante esse intervalo.

### **3.5 Digitalização do sinal analógico para o levantamento da curva de pesagem**

Como já foi visto anteriormente, a curva característica de pesagem é uma ferramenta fundamental para a análise do processo de pesagem. Os estudos e ensaios até agora mostrados confirmam que tanto as balanças híbridas como as eletrônicas apresentam uma resposta de tempo compatível para que se possam realizar pesagens estáticas ou em movimento fixadas numa velocidade limite de 15 km/h.

A primeira condição para que um sistema possa determinar com precisão a curva característica de pesagem a partir dos valores lidos e convertidos no microprocessador é que haja um número significativo maior ou igual a 4 leituras entre as mudanças de patamares provocados pelas entradas ou saídas de novos eixos sobre a plataforma.

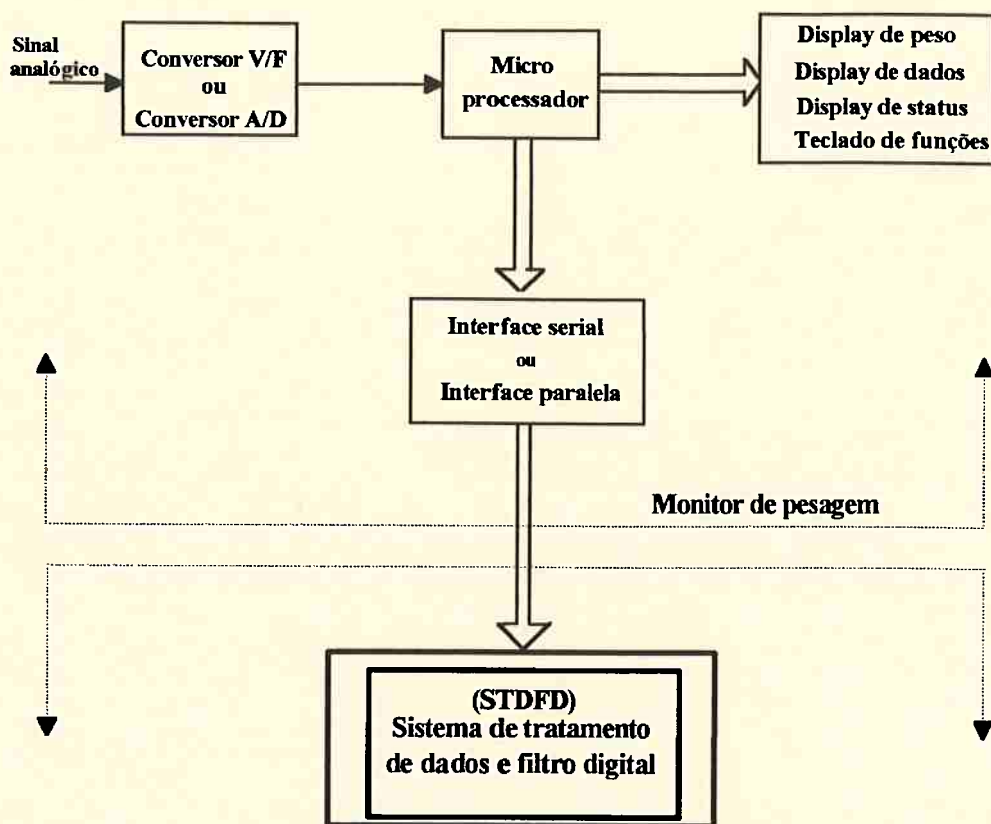
Analisando as curvas obtidas nos ensaios de campo com veículos em movimento, onde a velocidade máxima foi limitada em 15 km/h, observou-se que eixos próximos geram patamares com pequenos intervalos de tempo, cujos valores se situaram na faixa entre 500 ms e 1,0 s.

O próximo passo para o levantamento e conseqüente análise da curva característica de pesagem é a digitalização e o tratamento do sinal após o filtro

analógico. Na figura 3.15 o diagrama de blocos de um sistema de pesagem híbrido ou eletrônico ilustra as etapas de tratamento do sinal oriundo da célula de carga.

Cada valor lido e convertido é então transmitido através da interface serial para um Controle Automático de Pesagem, que será completamente definido no próximo capítulo. Este é um sistema hierarquizado de controle formado de vários módulos que operam sobre uma estrutura hierárquica de controle e operação.

O módulo deste sistema que recebe os valores amostrados e convertidos do monitor de pesagem será denominado de agora em diante módulo Sistema de Tratamento de Dados e Filtro Digital (STDFD). O módulo STDFD roda o algoritmo de tratamento de dados também denominado pela mesma sigla. É através desse algoritmo que o módulo executa o tratamento e a análise do processo de pesagem através da curva característica de pesagem.



**Figura 3.16 - Diagrama esquemático monitor de pesagem e algoritmo STDFD**

### **3.6 Módulo e algoritmo de tratamento de sinal do STDFD**

O algoritmo STDFD para pesagens estáticas difere ligeiramente do algoritmo STDFD para pesagens em movimento, pois o mesmo deve dar tratamento distinto ao tempo significativamente maior quando o veículo permanece sobre a plataforma.

Porém, tanto para pesagens em movimento como para pesagens estáticas, a função do algoritmo STDFD é validar ou não o processo de pesagem através do levantamento e da análise da curva característica do processo de pesagem.

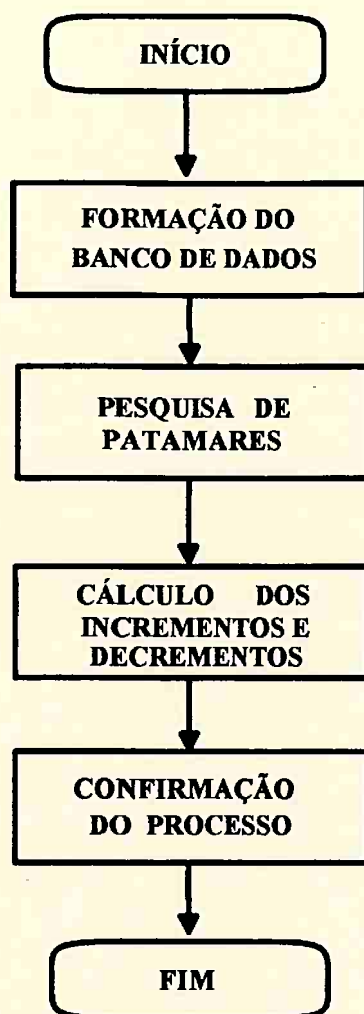
### **3.6.1 Algoritmo STDFD para pesagens em movimento**

O STDFD opera num nível hierarquicamente inferior e vinculado ao Controle Automático de Pesagem Posto que detém a função de informar o algoritmo STDFD que o processo foi iniciado.

Assim que isto acontece através do início de processo de pesagem, o algoritmo STDFD inicia a tarefa de levantamento, caracterização e análise da curva característica de pesagem. O STDFD é composto de quatro módulos que executam quatro etapas sequencialmente:

- a - Formação do banco de dados.
- b - Pesquisa dos patamares.
- c - Cálculo dos incrementos e decrementos.
- d - Confirmação do processo.

A figura seguinte ilustra o fluxograma do algoritmo STDFD.



**Figura 3.17 - Fluxograma do algoritmo STDFD**

Na etapa **FORMAÇÃO DO BANCO DE DADOS** os valores do peso em função do tempo do início do processo são registrados a partir do instante da entrada do veículo na plataforma de pesagem até a saída do mesmo.



A lei de formação desse registro é dada pela função:

$$P(t_k) = [t_k, f(t_k)] \quad (3.9)$$

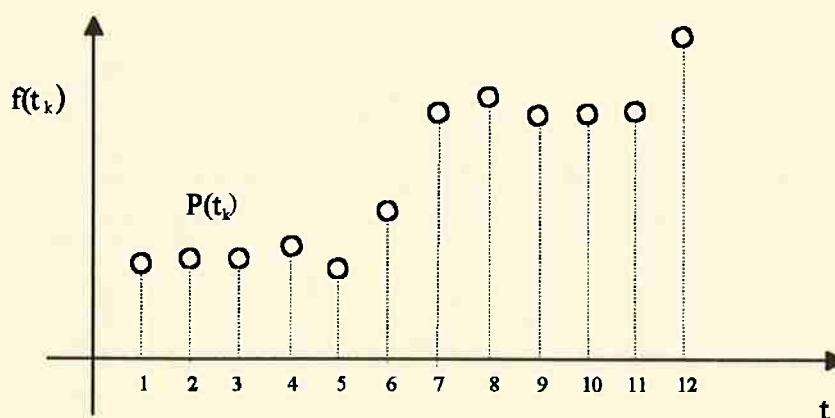
Onde:

$P(t_k)$  são os pontos gerados pelos valores do peso do veículo em função dos instantes de amostragem ocorridos durante o processo.

$t_k$  são os instantes de amostragem do processo com intervalos de tempo.

$\Delta t_a \leq 0,05$  seg . (tempo de amostragem).

$f(t_k)$  os valores do peso.



**Figura 3.18 - Banco de dados obtido pelo algoritmo STDFD**

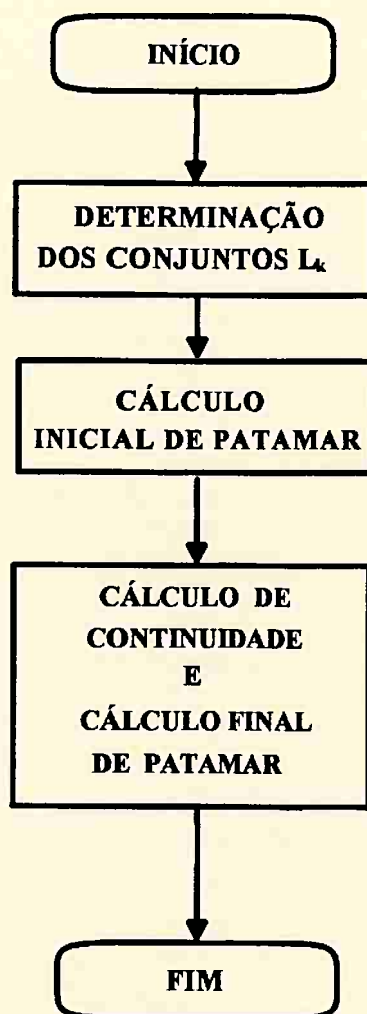
A etapa formação do bancos de dados é terminada quando o peso sobre a plataforma for menor ou igual a 100 kg.

O banco de dados gerado tem sua dimensão variável, uma vez que os tempos de cada processo de pesagem podem variar conforme a taxa de velocidade média de cada veículo.

Sabendo-se a faixa de variação dos tempos dos processos de pesagem, e considerando-se a taxa de amostragem de, por exemplo, 20 leituras por segundo para veículos de 6 a 15 metros de comprimento entre eixos, plataforma de 19 metros e velocidades médias entre 1 km/h e 15 km/h, teremos bancos de dados cujos registros totais podem variar entre 120 a 12460.

Conclui-se que a reserva de um espaço de memória para a formação de um banco de dados de até 20.000 registros é suficiente, inclusive quando a taxa de amostragem for de 100 leituras por segundo.

Em seguida o algoritmo STDFD inicia a etapa **PESQUISA DE PATAMARES**, que é composta por três módulos, conforme figura 3.19.



**Figura 3.19 - Fluxograma do módulo pesquisa de patamares do algoritmo STDFD**

No primeiro módulo **DETERMINAÇÃO DOS CONJUNTOS  $P(t_k)$** , faz-se um agrupamento em conjuntos  $L_k$  constituído por um número  $Y$  de pontos  $P(t_i)$  consecutivos.

O segundo módulo **CÁLCULO INICIAL DE PATAMAR** tem como objetivo a caracterização dos pontos do sub-conjunto adotado que podem caracterizar a formação de um patamar.

Este módulo executa a média aritmética dos valores dos pesos registrados e o desvio padrão levando em consideração o número de elementos do conjunto.

$$M_{Ln} = \frac{\sum f(t_k)}{ne} \quad (3.10)$$

$$\sigma_{Ln} = \sqrt{\frac{\sum (f(t_k) - M_{Ln})^2}{ne-1}} \quad (3.11)$$

onde:

$M_{Ln}$  é a média aritmética do conjunto  $Ln$ ,  $ne$  é o número de elementos do conjunto  $Ln$  e  $\sigma_{Ln}$  é o desvio padrão do conjunto  $Ln$ .

Efetuada o cálculo da média e do desvio padrão, são excluídos do conjunto  $Ln$  todos os pontos que estiverem fora do intervalo da média, sendo considerados somente aqueles dentro da faixa.

$$P(t_k) \in (M_{Ln} - \sigma_{Ln}, M_{Ln} + \sigma_{Ln}) \quad (3.12)$$

Onde  $P(t_k)$  são os pontos que pertençam ao intervalo da média mais ou menos o desvio padrão.

O processo se repete com o novo cálculo da média e do desvio padrão dos  $P(t_k)$  resultantes da primeira interação. Novamente excluem-se os pontos que não pertencem ao novo intervalo dado pela nova média e desvio padrão.

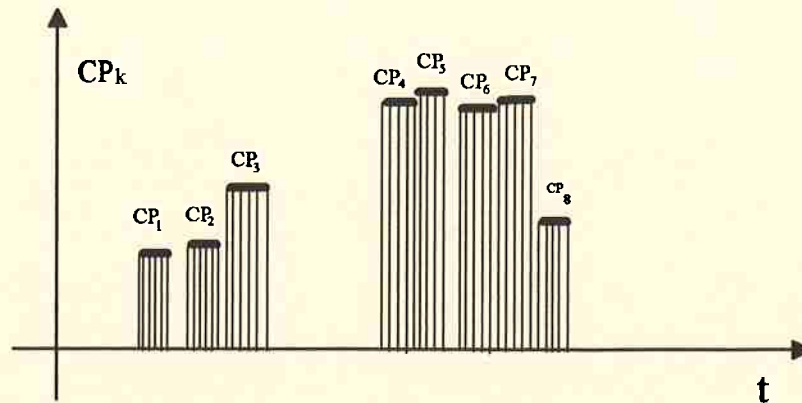
O processo com os pontos remanescentes se repete até que:

- a - O número mínimo de pontos remanescentes seja um terço do número inicial de pontos do conjunto.
- b - A variação da média entre as duas últimas interações seja menor que 3%.
- c - O desvio padrão encontrado seja 3% do valor da média.

A média aritmética desse conjunto de pontos gera um valor definido como cálculo inicial de patamar, que é chamado de **provável patamar**. Todos os conjuntos  $L_n$  são processados neste módulo **CÁLCULO INICIAL DE PATAMAR**, gerando um novo conjunto  $CP_k$  de valores de prováveis patamares.

O número de elementos de  $CP_k$  será menor ou igual ao número de  $L_n$ , uma vez que nem todos os conjuntos  $L_n$  necessariamente determinarão um **provável patamar**.

A figura seguinte ilustra um possível grupo de conjuntos  $CP_k$  após o algoritmo STDFD ter executado esta etapa.



**Figura 3.20- Ilustração temporal de um possível grupo de conjuntos de  $CP_k$**

A próxima etapa é o **CÁLCULO DE CONTINUIDADE** e **CÁLCULO FINAL**, quando se testa se existe ou não continuidade entre dois prováveis patamares vizinhos, e se determina quais são os patamares finais.

O algoritmo STDFD toma o primeiro **provável patamar** e verifica se existe um outro **provável patamar** vizinho.

Se não existe um **provável patamar** vizinho, o atual **presente provável patamar** ganha o status 1. Em seguida, STDFD toma o próximo **provável patamar** e executa o mesmo teste. Caso a mesma condição se repita, o próximo **provável patamar** recebe o status 2. Supondo-se que não haja vizinhança entre todos os **prováveis patamares**, o algoritmo determina quais são os patamares incrementais de peso e quais são os patamares decrementais de peso comparando o patamar presente com o patamar anterior. Assim sendo, o conjunto  $Pat(n)$  de patamares contém os valores, sequência e a informação de que se trata de um patamar de entrada ou saída do veículo.

A outra condição do teste com o primeiro provável patamar é que exista um vizinho.

Se a diferença entre os mesmos é menor que 5% do **provável patamar máximo** de todo o conjunto de **prováveis patamares**, então ambos pertencem ao mesmo patamar. O processo é repetido, verificando se a diferença entre o novo **provável patamar** (formado pela média dos dois anteriores) e o **provável patamar vizinho** é menor que 5% do **provável patamar máximo** de todo o conjunto de **prováveis patamares**.

Uma vez determinado o primeiro patamar, o algoritmo STDFD recomeça o processo de pergunta, se existe ou não vizinhança, com o próximo **provável patamar**. Os procedimentos se repetem até que se verifique o conjunto inteiro de **prováveis patamares** quando então estarão determinados todos os patamares da curva característica de pesagem.

A figura seguinte ilustra o fluxograma dessa etapa.

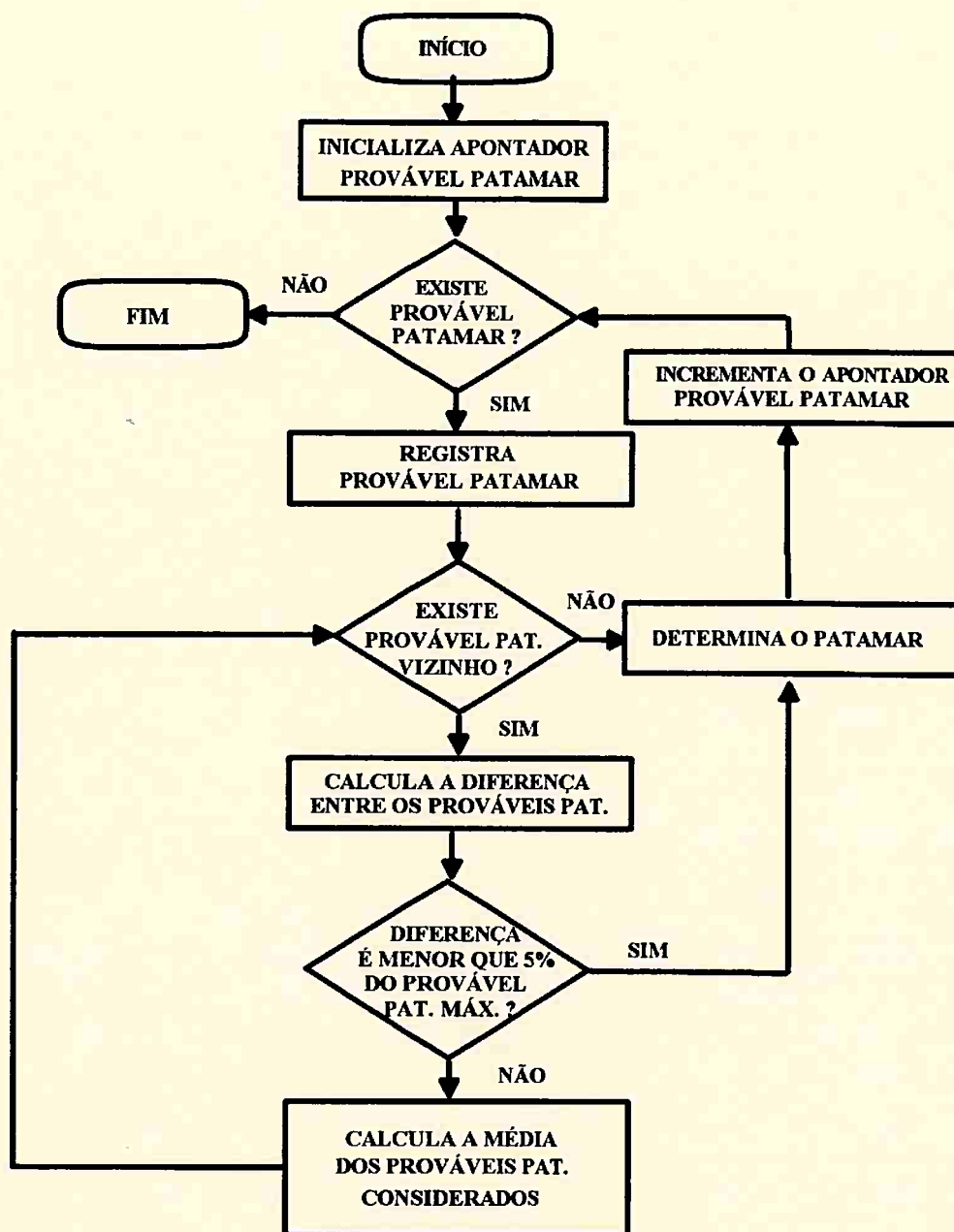
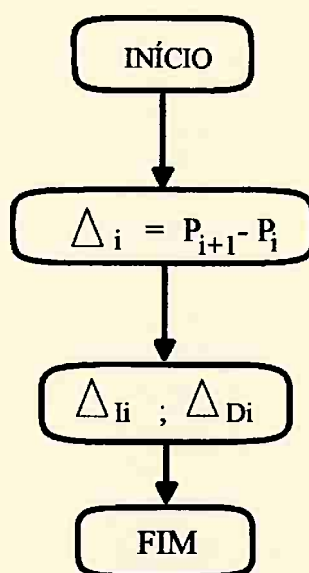


Figura 3.21 - Fluxograma do módulo cálculo de continuidade e cálculo final de patamar do algoritmo STDFD



Terminada a etapa **PESQUISA DE PATAMARES**, o algoritmo STDFD inicia a etapa **CÁLCULO DOS INCREMENTOS E DECREMENTOS**.

São calculadas as diferenças entre os valores dos patamares obtidos. O número de patamares incrementais define o número de eixos que entraram na plataforma, enquanto o número de patamares decrementais determina o número de eixos que saíram da plataforma.



**Figura 3.22 - Fluxograma do módulo cálculo dos incrementos e decrementos do algoritmo STDFD**

A próxima etapa é **CONFIRMAÇÃO DO PROCESSO**. É nessa etapa que o algoritmo STDFD efetua a análise da curva característica de pesagem obtida durante o processo.

A análise do processo é efetuada com base nos cálculos dos incrementos e decrementos de patamares.

Qualquer das quatro condições seguintes invalida o processo de pesagem:

a - Teste do número mínimo de eixos. O processo é invalidado se o número de eixos que entrar e sair da plataforma não for maior ou igual a dois.

b - Teste de igualdade de eixos. O processo é invalidado se o número de patamares de subida for diferente do número de patamares de saída.

c - Teste da característica monotônica da função de entrada e saída de eixos. Nesta verificação é checada a monotonicidade da curva característica. Numa curva característica válida os patamares devem ser crescentes até um valor de patamar máximo e, depois, continuamente decrescentes. Qualquer distorção desse padrão significa que houve erro no processo.

d - Teste dos patamares equivalentes de entrada e saída dos eixos. Neste teste são analisados os desvios entre os incrementos de peso (patamares atingidos) provocados pelas entradas dos eixos e os respectivos decrementos provocados pelas saídas dos mesmos eixos. O cálculo é efetuado fazendo-se a divisão individual da soma do patamar de incremento mais o equivalente patamar de decremento pela subtração dos mesmos patamares.

Caso as quatro condições sejam satisfeitas, o algoritmo STDFD libera a informação de que o processo de pesagem ocorreu corretamente. O peso registrado é o valor do maior patamar. A figura seguinte ilustra esta etapa do processo do algoritmo STDFD.

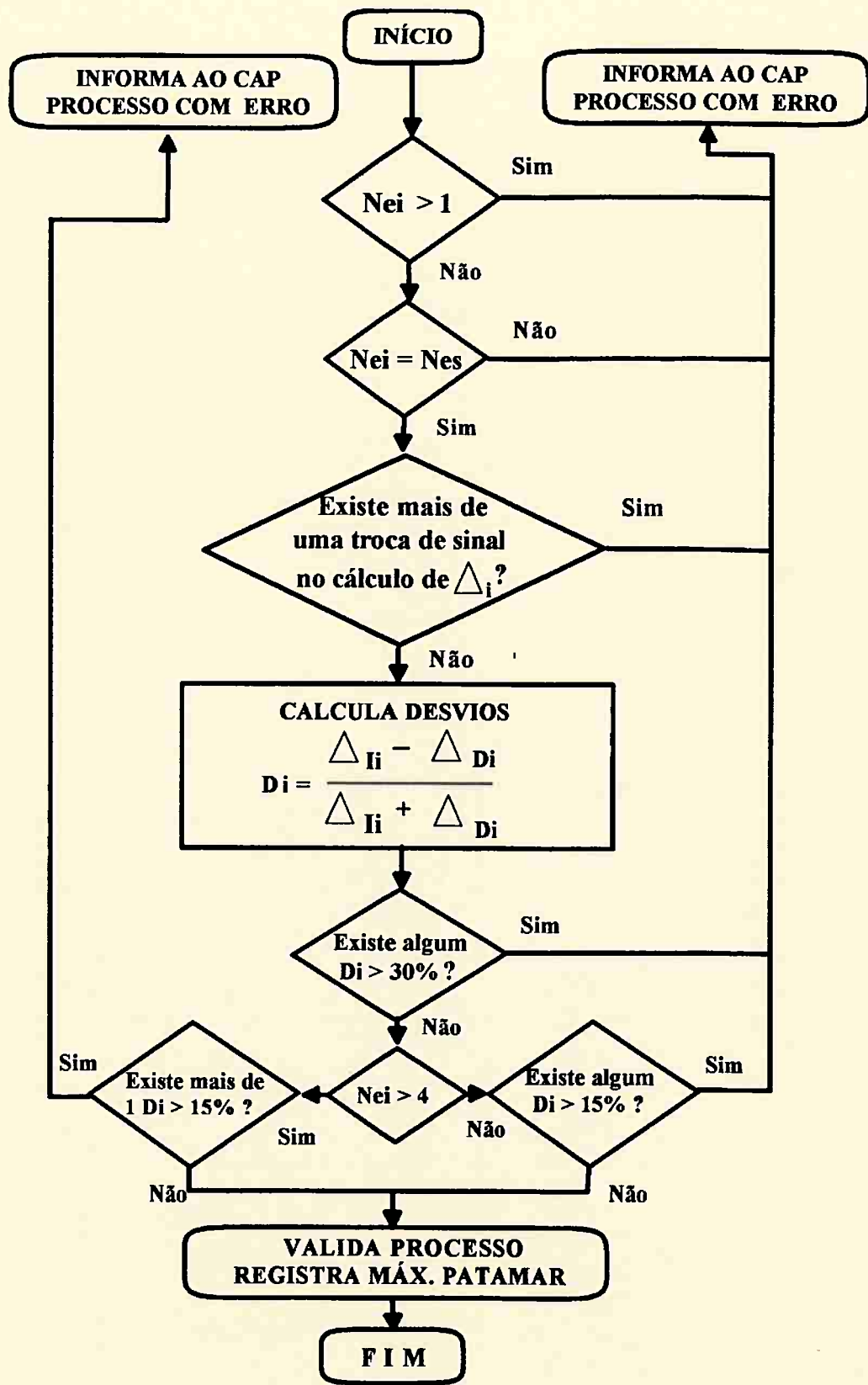


Figura 3.23 - Fluxograma do módulo confirmação do processo.

### 3.6.2 Algoritmo STDFD para pesagens estáticas

A diferença entre o algoritmo STDFD para pesagens estáticas e o algoritmo STDFD para pesagens em movimento está no fato de o motorista parar o veículo sobre a plataforma e sair do veículo e da plataforma para que seu peso não seja registrado como sendo parte do veículo. Como já foi comentado anteriormente, o tempo em que o motorista permanece fora do veículo e da plataforma não é previsível, uma vez que varia de pesagem para pesagem. No capítulo quatro, o procedimento do motorista deixar o veículo será tratado convenientemente.

O algoritmo STDFD para pesagens estáticas trabalha considerando o processo em duas etapas: entrada do veículo e posicionamento, e retirada do veículo.

De maneira análoga o Controle Automático informa ao STDFD que o processo de pesagem foi iniciado.

O algoritmo STDFD inicia a primeira parte da formação do banco de dados dos valores do peso em função do tempo da curva característica de pesagem. O STDFD permanece registrando os valores de peso até o momento em que é informado pelo Controle Automático para interromper e permanecer aguardando a sinalização de prosseguir a formação do banco de dados. Esta primeira parte da formação do banco de dados deve corresponder à curva ascendente de um processo de pesagem efetuado corretamente.

O Controle informa ao STDFD quando este deve interromper os registros no instante em que o condutor do veículo informa ao sistema via cartão magnético que o veículo está corretamente posicionado e que o motorista está fora da plataforma.

Neste instante, o STDFD registra esse valor do peso como sendo o peso oficial da pesagem e fica no aguardo de que o peso da plataforma sofra um incremento maior ou igual a 30 kg para reiniciar a formação do banco de dados. Este incremento se dará quando o motorista retornar ao veículo para então retirá-lo da plataforma. O STDFD registra o valor adicional do peso.

### **3.6.3 Ensaios e análise de desempenho do algoritmo STDFD**

Para a análise de desempenho do algoritmo STDFD foram utilizados os mesmos veículos de quatro e seis eixos utilizados nos ensaios anteriores. Nestes ensaios foram realizadas quatro situações típicas para os dois veículos:

a - Veículo entrando normalmente e saindo da plataforma sem provocar nenhum tipo de irregularidade. Neste ensaio verificou-se a capacidade do algoritmo identificar corretamente a curva característica de pesagem e o peso correto do veículo.

b - Veículo entrando e saindo da plataforma em processo normal, mas freando e acelerando repentinamente. Neste ensaio verificou-se a capacidade do algoritmo identificar corretamente a curva característica de pesagem e o peso correto do veículo, quando o sinal da curva de pesagem apresenta sobre-sinais originados de trepidações na plataforma.

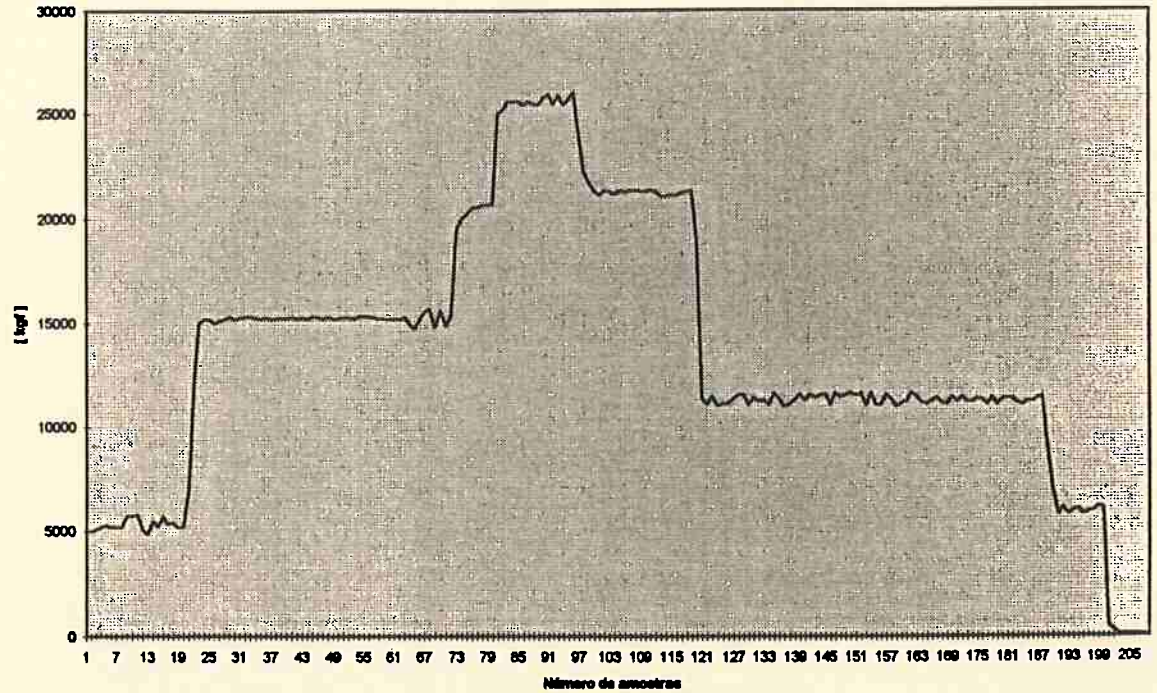
c - Veículo forçando as rodas na mureta de proteção com objetivo de indicar um peso inferior ao peso real. Neste ensaio verificou-se a capacidade do algoritmo identificar a situação de processo irregular e não validar o processo de pesagem.

d - Veículo entrando parcialmente na plataforma e retirando-se em marcha ré com objetivo de indicar um peso inferior ao real. Neste ensaio verificou-se a capacidade do algoritmo identificar a situação anormal de não equivalência entre as entradas dos eixos e as respectivas saídas dos mesmos e, portanto, não validar o processo de pesagem.

Todos os ensaios foram realizados em campo e as respectivas curvas de pesagem foram normalizadas no tempo para uma equivalente taxa de amostragem de 100 mil segundos.

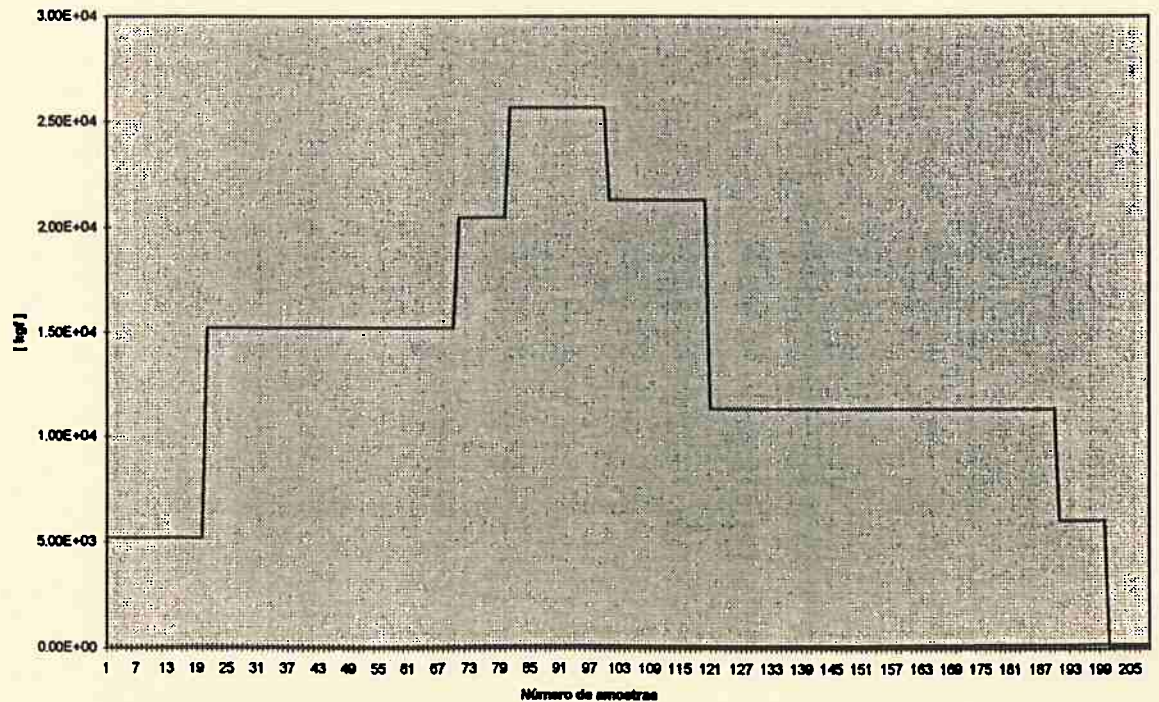
As curvas de pesagem geraram o banco de dados de entrada para o algoritmo STDFD. O algoritmo STDFD foi implementado em turbo C. As figuras seguintes são relativas as curvas reais de entrada de cada ensaio e a respectiva curva tratada pelo algoritmo STDFD.

## ENSAIO 1 (PROCESSO NORMAL - VEÍCULO DE 4 EIXOS)



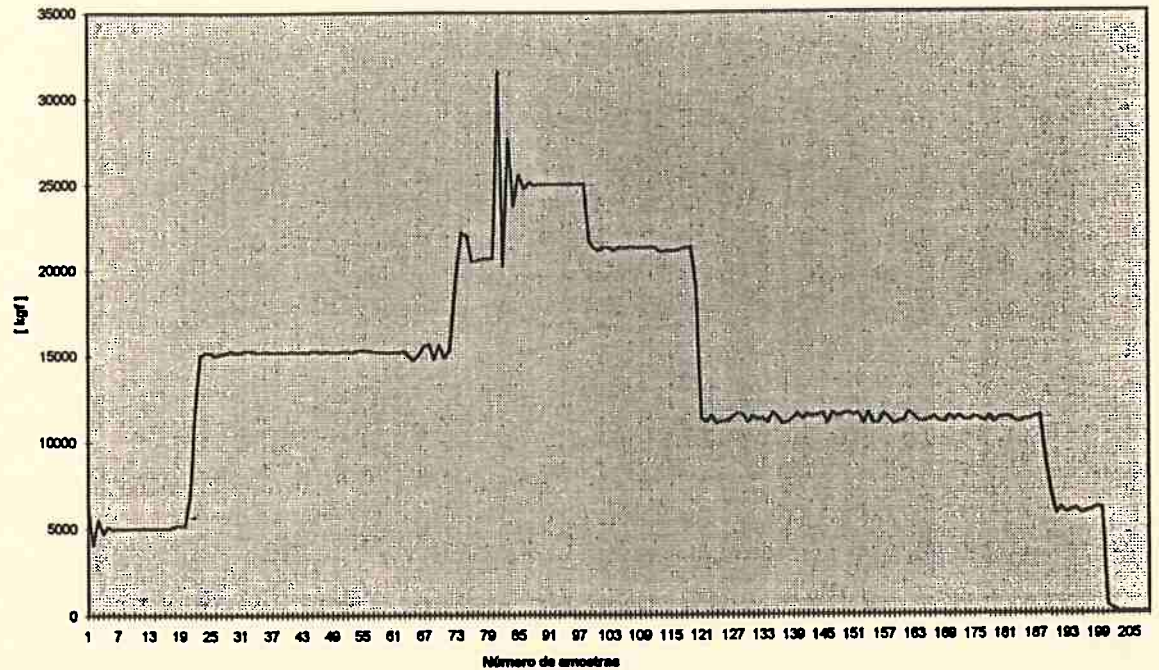
**Figura 3.24 - Curva de entrada com veículo de quatro eixos procedendo normalmente (Ensaio 1)**

## ENSAIO 1 (RESULTADO APÓS TRATAMENTO DE DADOS: PROCESSO VALIDADO COM PESO = 25.646,53 kg )



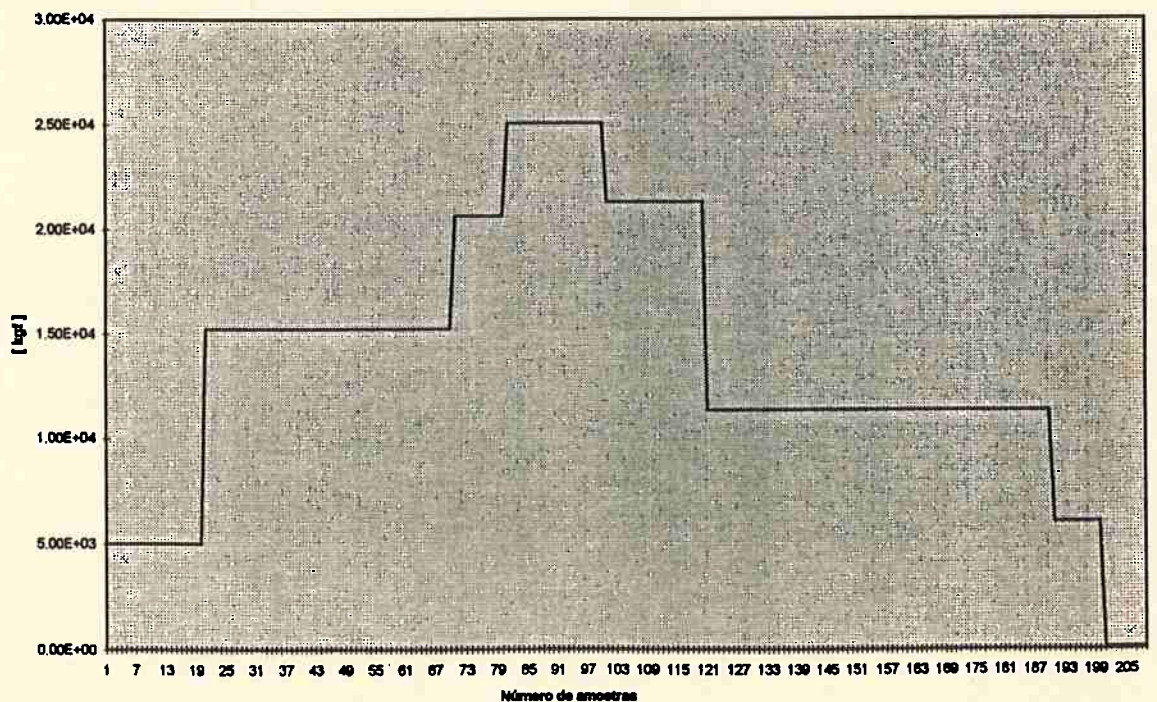
**Figura 3.25 - Curva tratada pelo algoritmo STDFD. Processo validado com peso = 25.646 kg (Ensaio 1)**

**ENSAIO 2 (PROCESSO NORMAL COM VEÍCULO DE 4 EIXOS PROVOCANDO FRENAGEM E IMPULSOS SUCESSIVOS)**



**Figura 3.26 - Curva de entrada com veículo de quatro eixos procedendo normalmente mas provocando fortes trepidações na plataforma (Ensaio 2)**

**ENSAIO 2 (RESULTADO APÓS TRATAMENTO DE DADOS: PROCESSO VALIDADO COM PESO = 25.031,89 kg)**



**Figura 3.27 - Curva tratada pelo algoritmo STDFD. Processo validado com peso = 25.031 kg (Ensaio 2)**



ENSAIO 3 (PROCESSO ANORMAL - VEÍCULO DE 4 EIXOS FORÇANDO AS RODAS NA MURETA DE PROTEÇÃO)

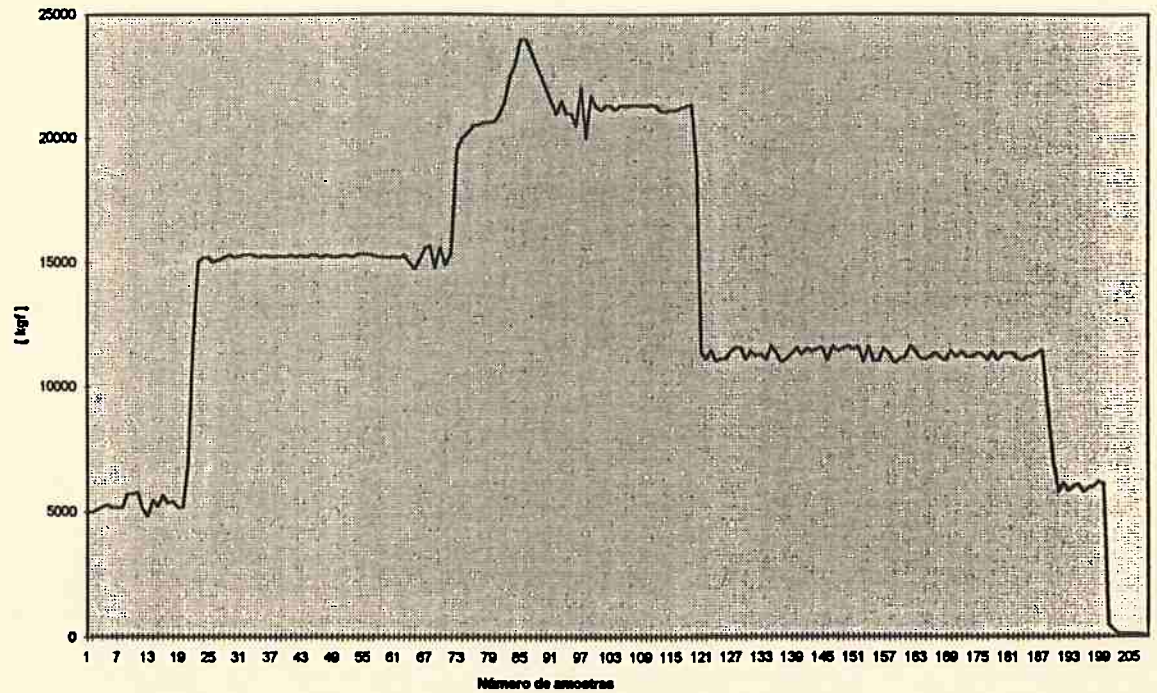


Figura 3.28 - Curva de entrada com veículo de quatro eixos procedendo irregularmente, forçando as rodas na mureta de proteção (Ensaio 3)

ENSAIO 3 (RESULTADO APÓS O TRATAMENTO DE DADOS: PROCESSO INVALIDADO)

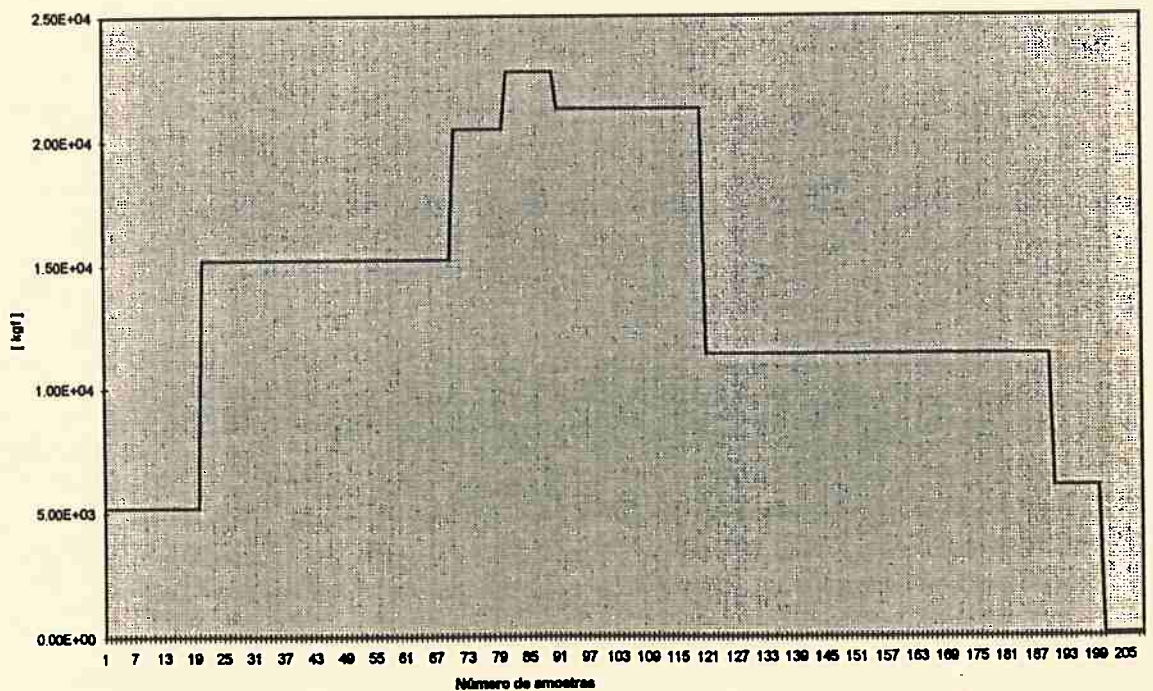


Figura 3.29 - Curva tratada pelo algoritmo STDFD. Processo invalidado (Ensaio 3)

ENSAIO 4 (PROCESSO ANORMAL - VEÍCULO DE 4 EIXOS FREANDO ANTES DA ENTRADA DO 4 EIXO E SAINDO À RÉ)

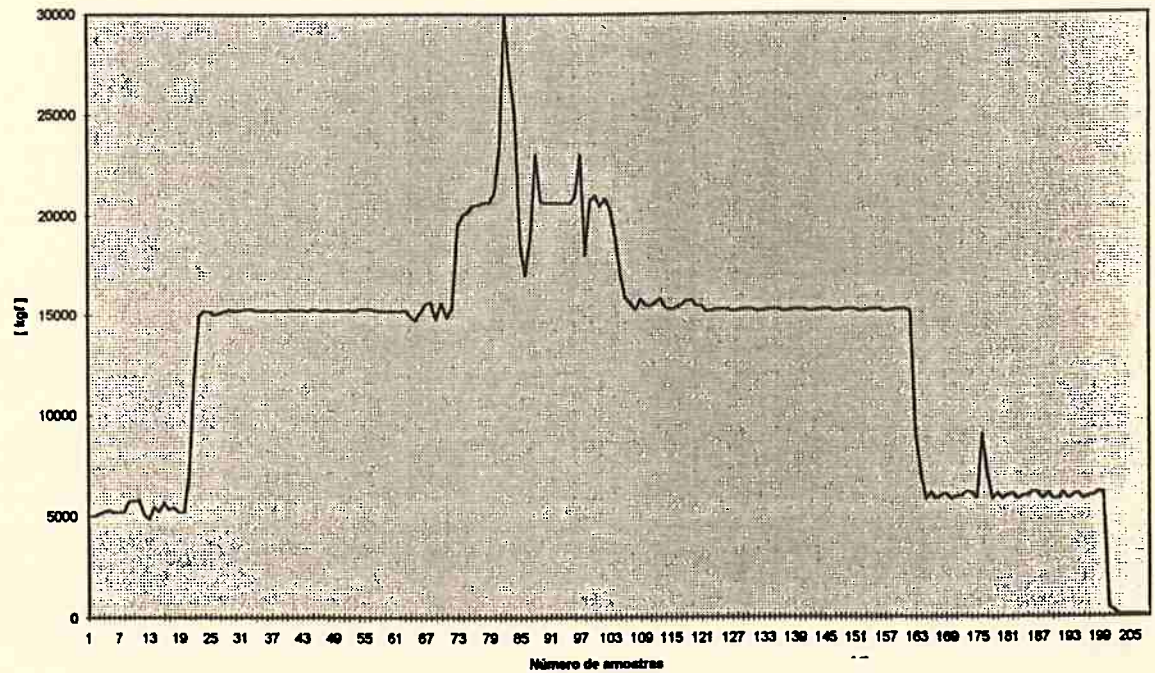


Figura 3.30 - Curva de entrada com veículo de quatro eixos procedendo irregularmente e não entrando totalmente na plataforma (Ensaio 4)

ENSAIO 4 (RESULTADO APÓS O TRATAMENTO DE DADOS: PROCESSO INVALIDADO)

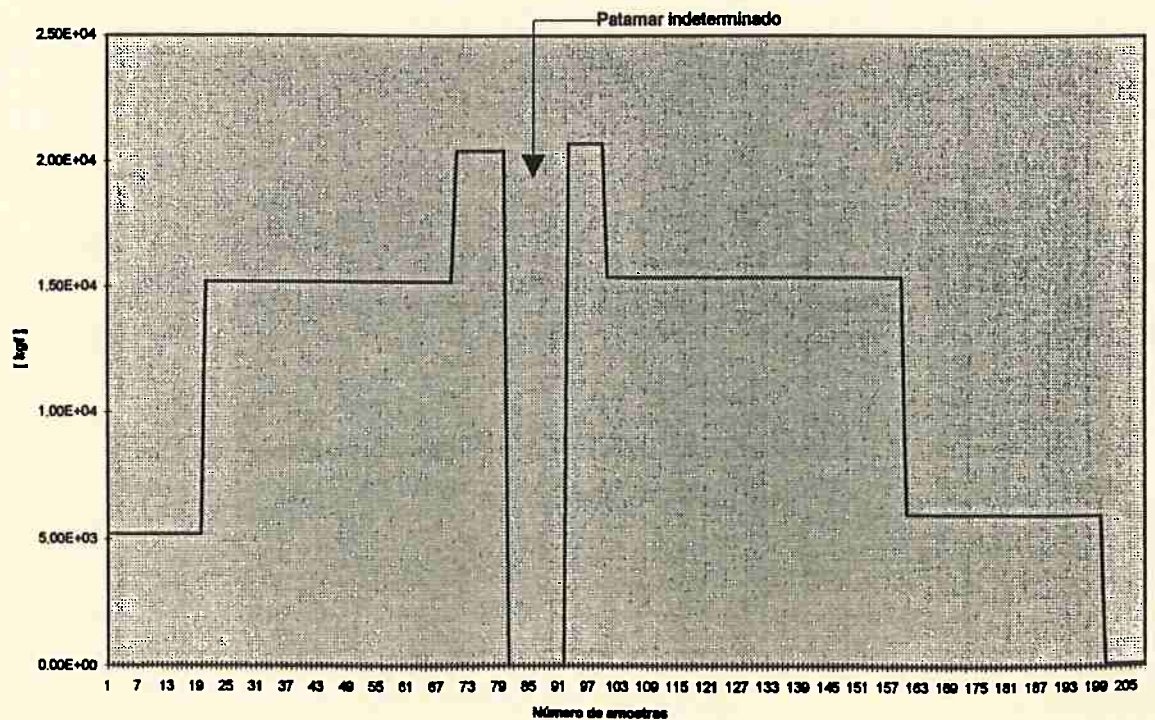


Figura 3.31 - Curva tratada pelo algoritmo STDFD. Processo invalidado (Ensaio 4)

ENSAIO 5 (PROCESSO NORMAL - VEÍCULO DE 6 EIXOS)

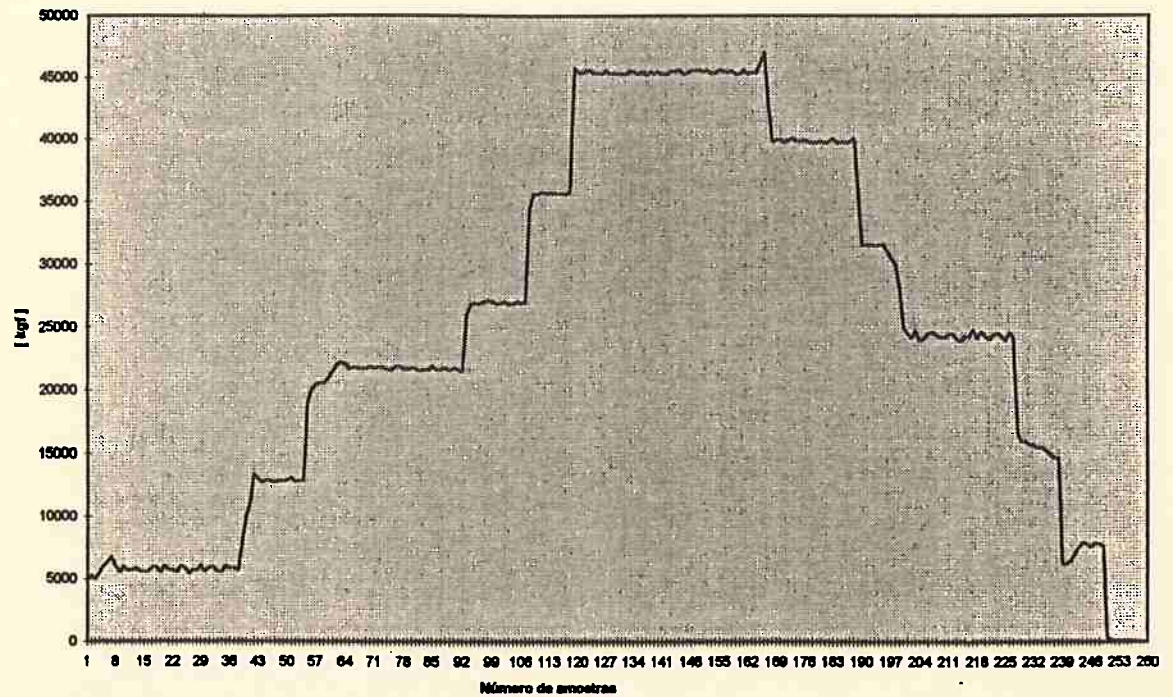


Figura 3.32 - Curva de entrada com veículo de seis eixos procedendo normalmente (Ensaio 5)

ENSAIO 5 (RESULTADO APÓS TRATAMENTO DE DADOS: PROCESSO VALIDADO COM PESO = 45.485,30 kg)

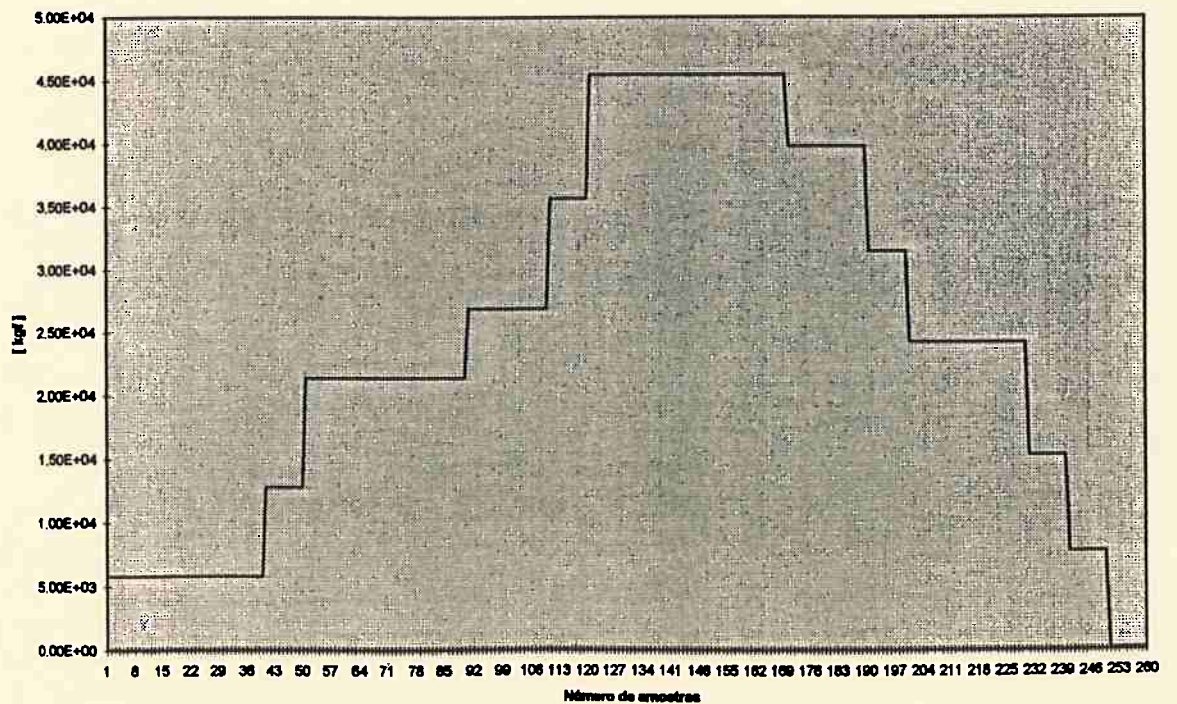
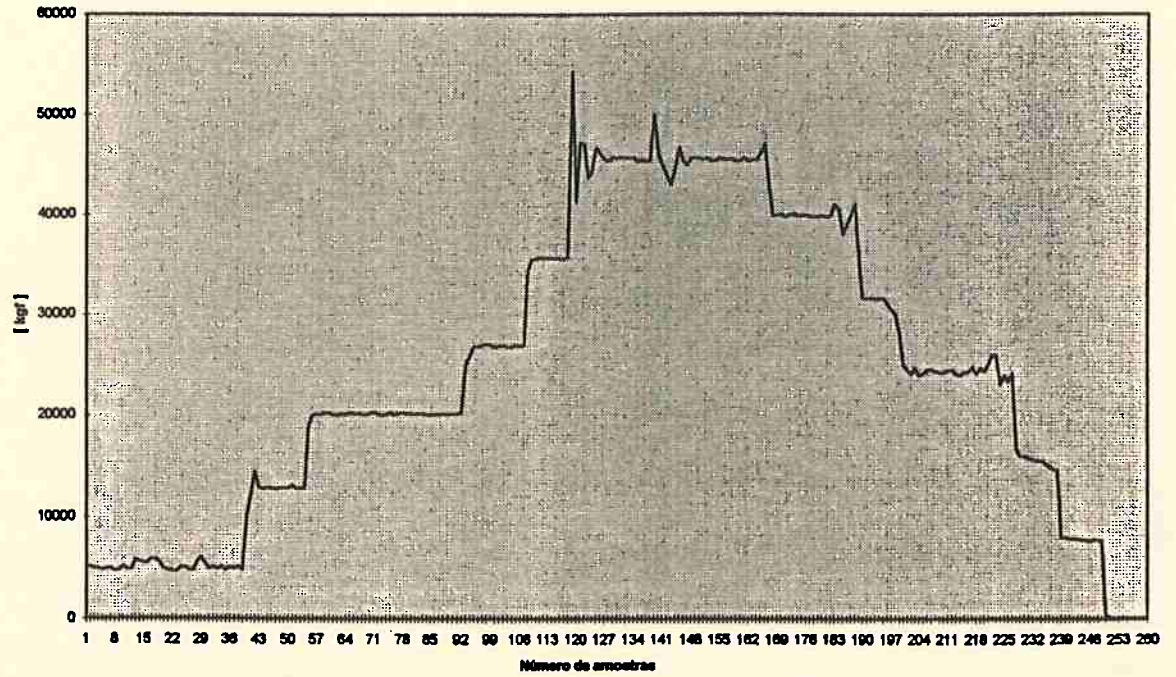


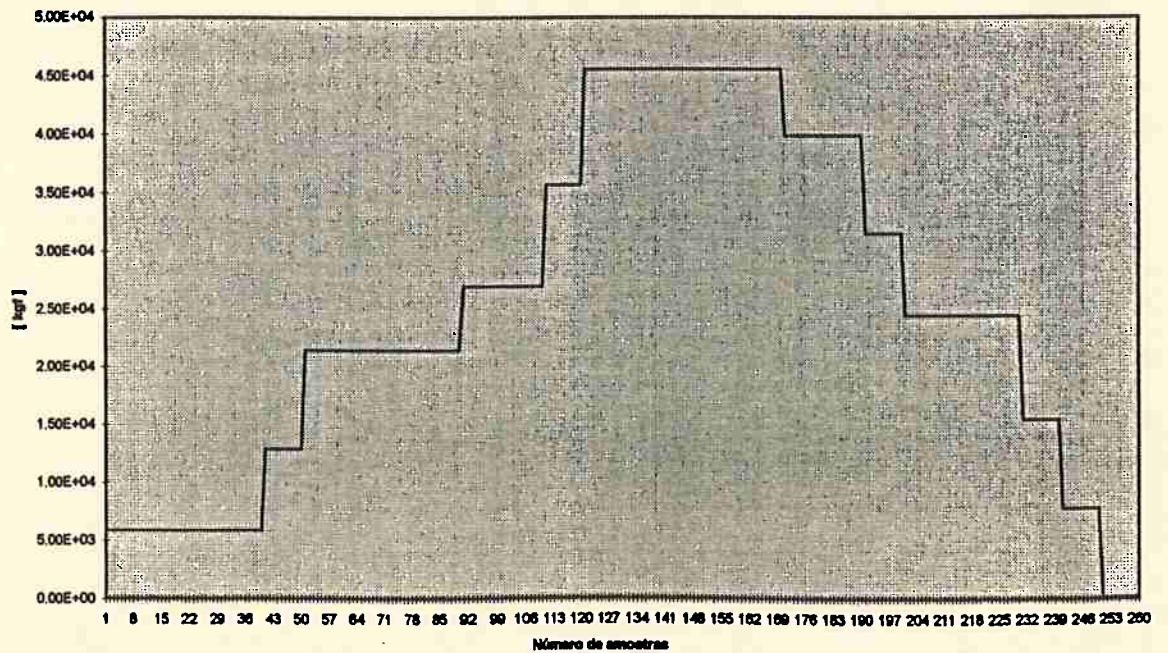
Figura 3.33 - Curva tratada pelo algoritmo STDFD. Processo validado com peso = 45.485 kg (Ensaio 5)

**ENSAIO 6 (PROCESSO NORMAL - VEÍCULO DE 6 EIXOS PROVOCANDO FRENAGEM E IMPULSOS SUCESSIVOS)**



**Figura 3.34 - Curva de entrada com veículo de seis eixos procedendo normalmente mas provocando fortes trepidações na plataforma (Ensaio 6)**

**ENSAIO 6 (RESULTADO APÓS TRATAMENTO DE DADOS: PROCESSO VALIDADO COM PESO = 45.550,14 kg)**



**Figura 3.35 - Curva tratada pelo algoritmo STDFD. Processo validado com peso = 45.550 kg (Ensaio 6)**

ENSAIO 7 (PROCESSO ANORMAL - VEÍCULO DE 6 EIXOS FORÇANDO AS RODAS NA MURETA DE PROTEÇÃO)

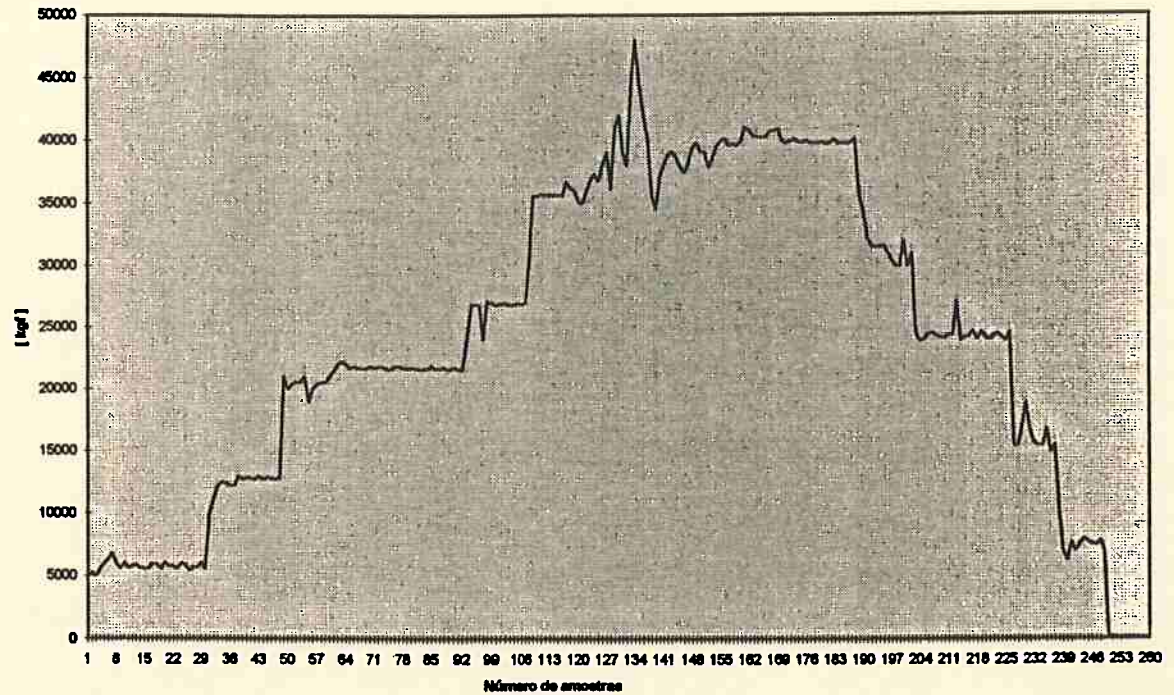


Figura 3.36 - Curva de entrada com veículo de seis eixos procedendo irregularmente, forçando as rodas na mureta de proteção (Ensaio 7)

ENSAIO 7 (RESULTADO APÓS O TRATAMENTO DE DADOS: PROCESSO INVALIDADO)

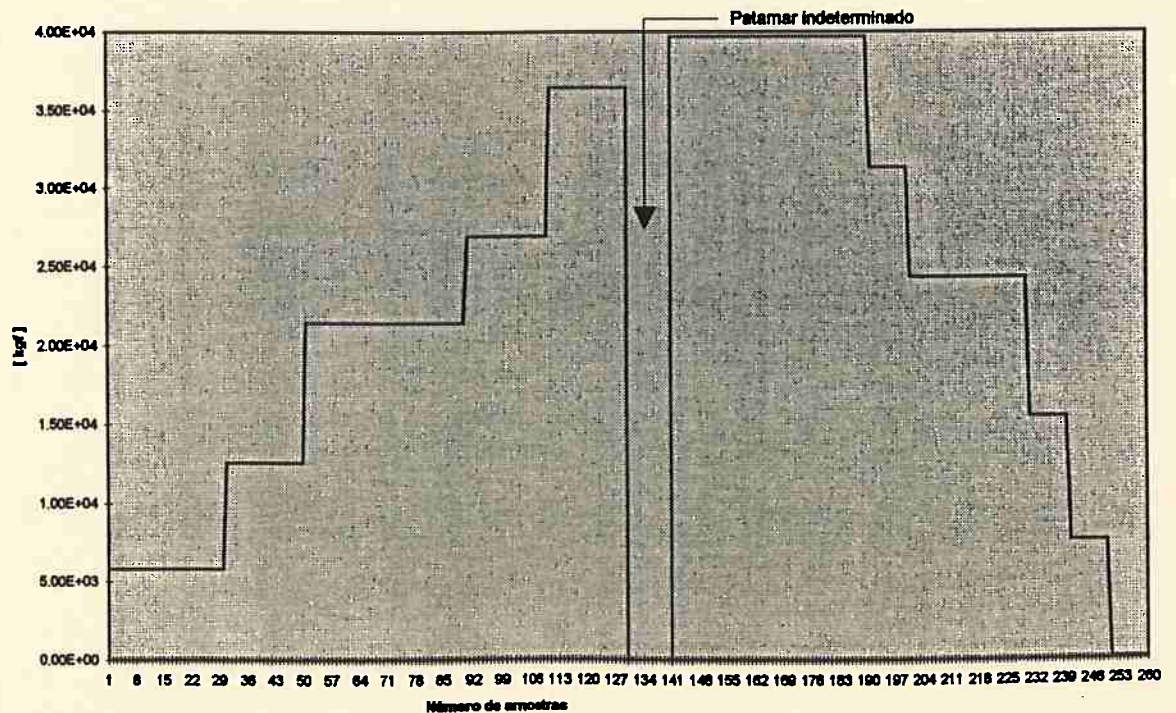


Figura 3.37 - Curva tratada pelo algoritmo STDFD. Processo invalidado (Ensaio 7)

ENSAIO 8 (PROCESSO ANORMAL - VEÍCULO DE 6 EIXOS FREANDO ANTES DA ENTRADA DO 6 EIXO E SAINDO À RÉ)

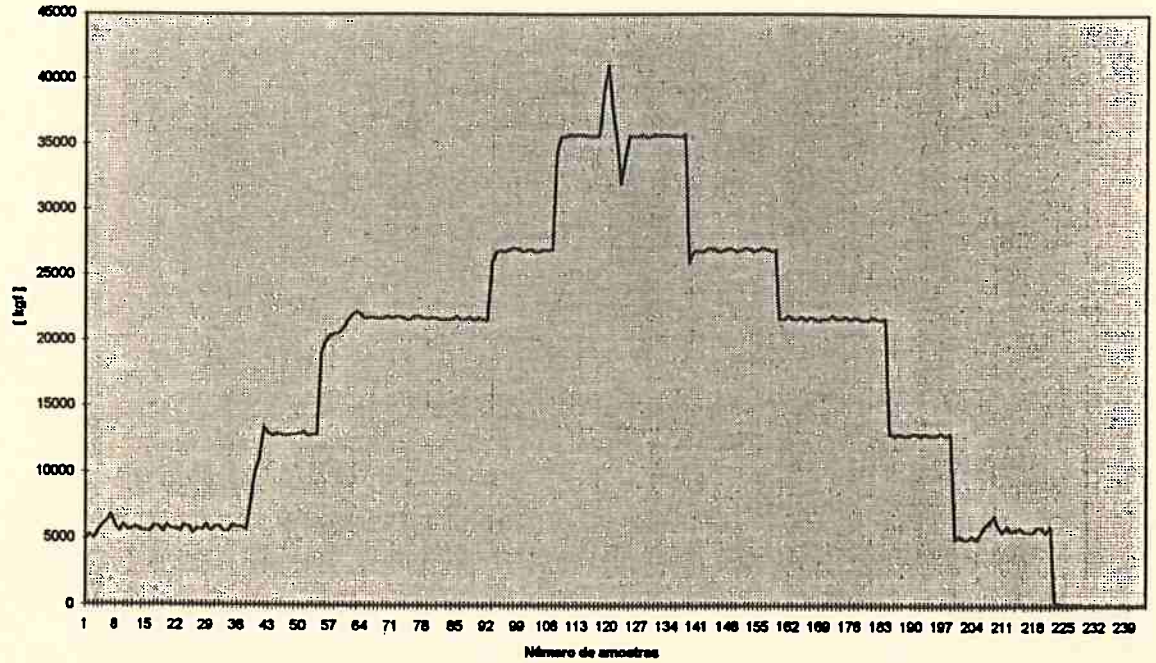


Figura 3.38 - Curva de entrada com veículo de seis eixos procedendo irregularmente e não entrando totalmente na plataforma (Ensaio 8)

ENSAIO 8 (RESULTADO APÓS O TRATAMENTO DE DADOS: PROCESSO INVALIDADO)

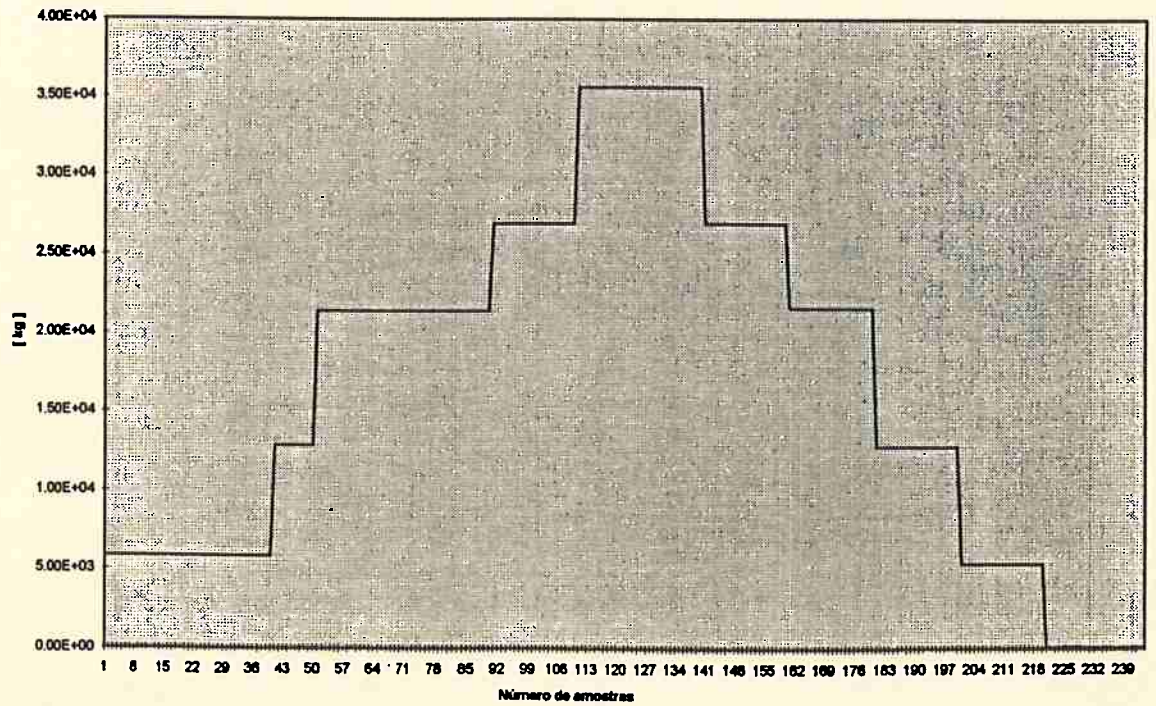


Figura 3.39 - Curva tratada pelo algoritmo STDFD. Processo invalidado (Ensaio 8)

Conforme foi observado, o algoritmo STDFD foi capaz de identificar os processo válidos e os não válidos. Para bancos de dados na ordem de 250 valores de peso o tempo de processamento foi inferior a 500 mil segundos e a taxa de desvio do peso registrado entre processos regulares com ou sem trepidações foi inferior a 2,4% para o veículo de quatro eixos e inferior a 0,15% para o veículo de seis eixos.

Portanto, verifica-se que o algoritmo STDFD implementado conforme o descritivo satisfaz plenamente as especificações de desempenho para um Sistema Integrado de Pesagem Rodoferroviário.

# ***Capítulo 4***

---

## **UMA NOVA CONCEPÇÃO**

## **PARA OS SISTEMAS EXISTENTES**

---

### **4.1 Introdução**

Esta nova concepção tem como objetivo atingir a agilidade do processo de pesagem e o aumento da eficiência operativa do sistema. Busca-se, portanto, um sistema confiável e que possibilite um aumento da produção sem requerer grandes investimentos em infra-estrutura.

#### **4.1.1 Garantia total da confiabilidade do processo de pesagem.**

Para se obter a garantia e a agilidade total do processo de pesagem, duas condições devem ser satisfeitas:

a - O processo de trânsito e posicionamento do veículo, cujas tarefas de supervisão, controle e análise do tráfego, conforme foi descrito e demonstrado no capítulo anterior, ficam sob o encargo do módulo STDFD.

b - Controle e cadastramento com supervisão automática à prova de equívocos da documentação da pesagem e dos dados do veículo. Esta tarefa envolve uma das maiores dificuldades a serem solucionadas no processo. A experiência de campo



nos tem mostrado que a eventual troca de documentação de veículos e os erros de preenchimento dos campos nos formulários são dois importantes fatores de depreciação dos sistemas convencionais, quando se objetiva a qualidade total do processo.

#### **4.1.2 Aumento da eficiência operativa.**

O aumento da eficiência operativa gera, entre outros benefícios, a minimização da necessidade de um grande número de postos de pesagens e, conseqüentemente, de maiores investimentos necessários para a sua instalação. Minimizando-se os números de postos de pesagens tem-se também uma significativa redução dos recursos empregados na manutenção corretiva e preditiva.

#### **4.2 Sistema Integrado de Postos de Pesagem Automatizados (SIPPA).**

Neste capítulo, será proposto e descrito um Sistema Integrado de Postos de Pesagem Automatizados, de agora em diante denominado SIPPA, e os procedimentos operativos do mesmo para atender a segunda condição descrita a fim de atingir a qualidade total dos processos de pesagem.

No SIPPA, o cadastramento e a documentação do processo são desvinculados do momento da pesagem. Ou seja, há uma divisão de tarefas entre centros de cadastramento, que têm por finalidade dar entrada documentada do veículo na companhia, e centros de pesagem, que executam somente a tarefa de medição do peso. Dessa forma, centros de cadastramento que requerem apenas terminais informatizados e

de baixo custo poderão ser implementados minimizando tempos de espera do fluxo de transporte.

Este sistema também racionalizará as operações, atingindo um significativo aumento da produtividade dos processos de pesagem e, portanto, reduzirá significativamente o volume de investimentos necessários para o aumento da capacidade produtiva. O sistema proposto será compatível com os tipos de operações: pesagens em movimento e pesagens estáticas.

#### **4.2.1 Arquitetura do hardware do Sistema Integrado de Postos de Pesagens Automatizados (SIPPA).**

O sistema proposto (SIPPA) será composto de quatro setores: Central Administrativa Operativa (CAO), Postos de Cadastramento e Controle (PCCs), Postos de Pesagens Operativos (PPOs).

A CAO tem como função administrar os dados referentes a um determinado período, fechando e contabilizando o fluxo de carga entre os destinos de origem e finalização de processo.

Os PCCs têm por finalidade o registro de entrada e saída de veículos no sistema emitindo para o usuário toda a documentação pertinente.

Os PPOs têm por finalidade medir os pesos de tara e bruto do veículo com total confiabilidade conforme foi descrito no capítulo anterior.

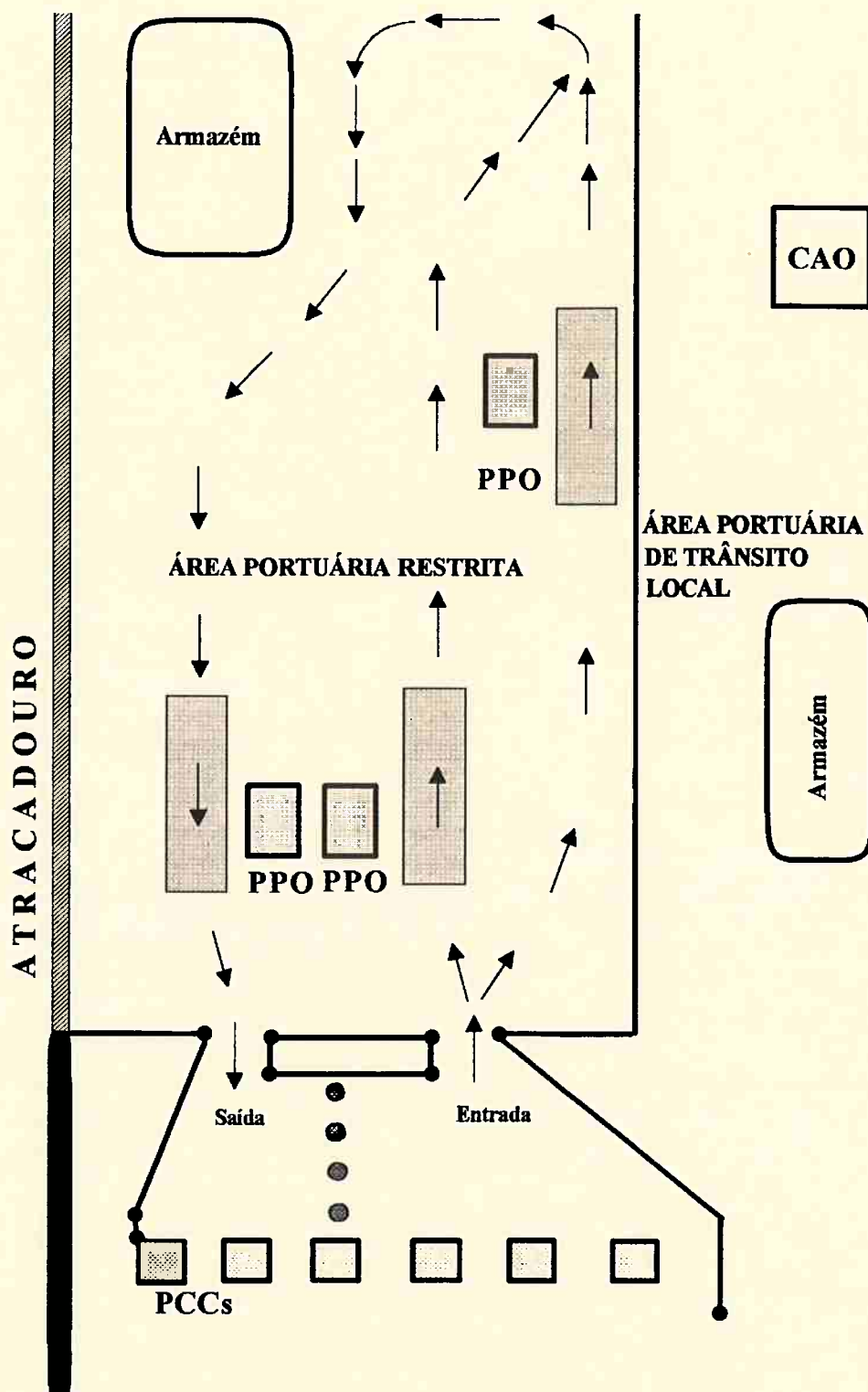
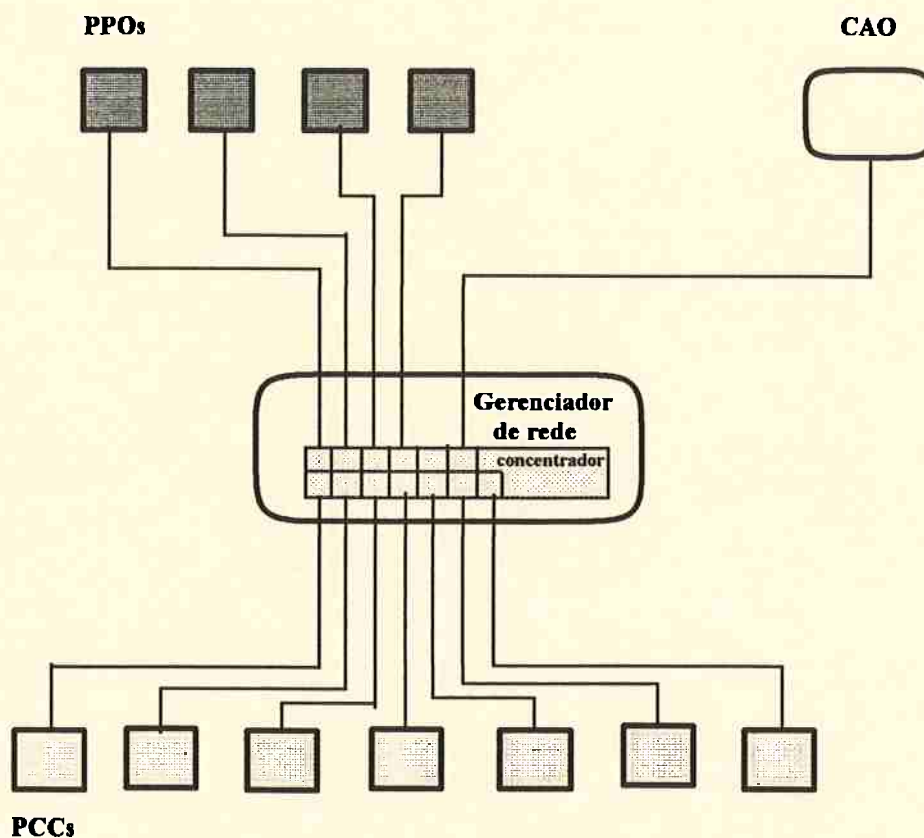


Figura 4.1 - Sistema SIPPA para um complexo de companhia de transporte e carga e descarga.



**Figura 4.2 - Exemplo de arquitetura do sistema SIPPA**

#### **4.2.1.1 Hardware de Posto de Cadastramento e Controle (PCC)**

O hardware de um Posto de Cadastramento e Controle (PCC) é constituído de um microcomputador PC, leitora de cartão magnético e impressora, que através de linha discada conecta o PCC à Rede de Gerenciamento de Dados.

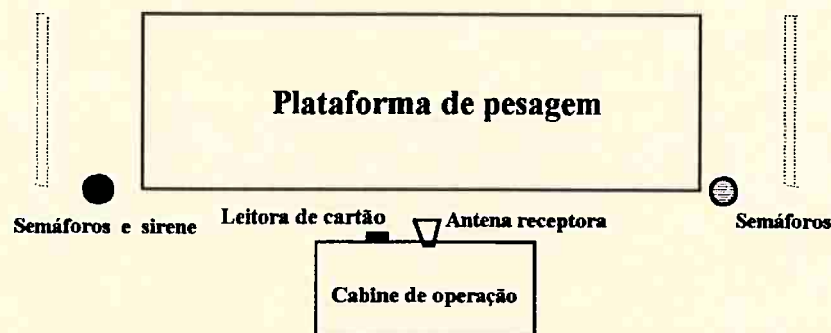
Em cada PCC fica um número de transmissores móveis de rádio frequência denominados TMRF, cujas características principais são:

a - Tamanho reduzido e grampo mecânico com lacre, para que só possa ser fixado ou retirado do interior do veículo pelo ajudante do posto de cadastramento.

b - Placa de identificação codificada com frequência própria de transmissão.

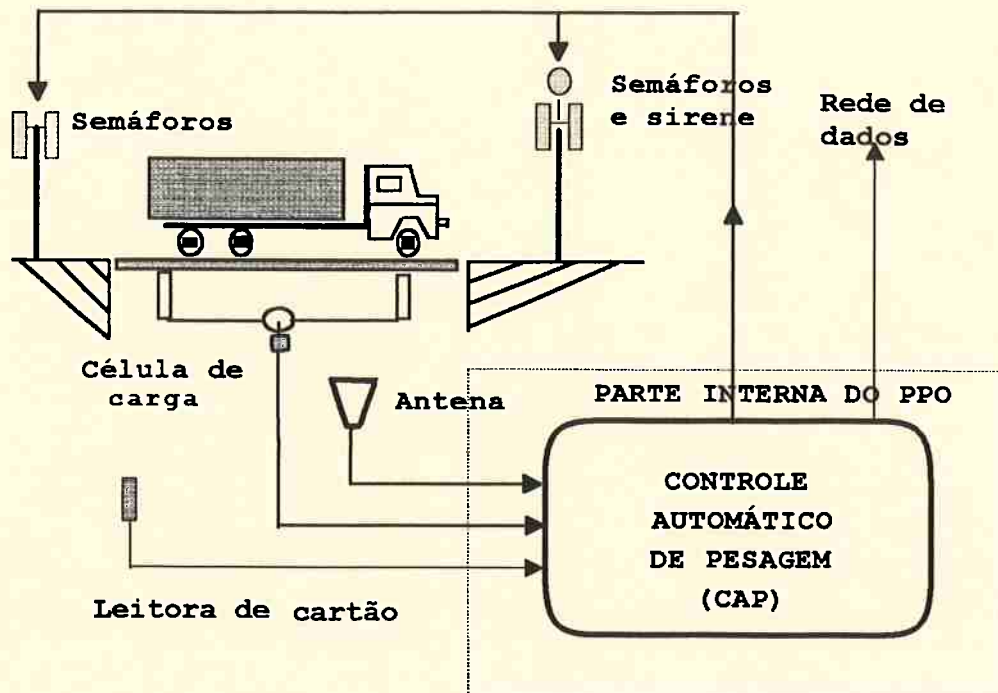
#### 4.2.1.2 Hardware de um Posto de Pesagem Operativo (PPO)

O Hardware de um Posto de Pesagem Operativo é constituído da parte interna e externa. A parte externa é formada por uma balança de pesagem rodoviária ou rodoferroviária eletrônica ou hibridizada, antena receptora, leitora de cartão, sinalizador acústico, dois conjuntos de semáforos (para postos unidirecionais), ou quatro conjuntos de semáforos (para postos bidirecionais).



**Figura 4.3 - Esquema de Posto de Pesagem Operativo**

Na parte interna, isto é, na cabine do posto, fica o Controle Automático de Pesagem (CAP), onde são alocados: no gabinete, um microcomputador industrial, teclado, monitor de vídeo, modem e monitor de pesagem. O microcomputador dispõe também de mais duas interfaces para o sistema antena e para acionamento de cargas elétricas de sinalização.



**Figura 4.4 - Diagrama de blocos funcional de um Posto de Pesagem Operativo**

#### 4.2.2 Arquitetura do software de um Posto de Pesagem Operativo (PPO)

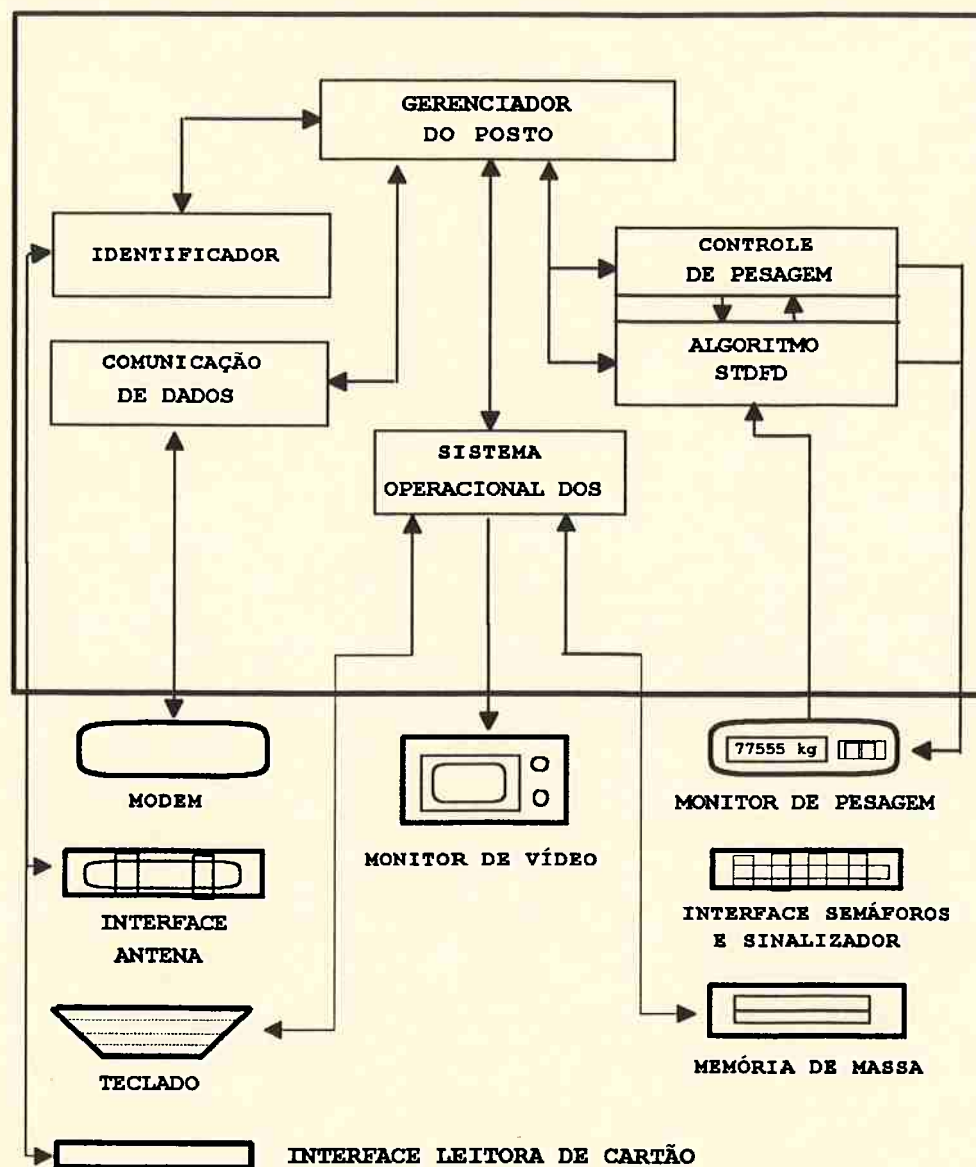
É o Controle Automático de Pesagem (CAP) que executa as funções do Posto de Pesagem Operativo (PPO). Como foi descrito anteriormente, o CAP é constituído de vários equipamentos. Esses equipamentos são gerenciados, integrados e supervisionados por um software modular e hierarquizado. Suas macro funções são:

- a - Gerenciamento do Posto.
- b - Controle de acesso e posicionamento de veículos para pesagens estáticas e controle de trânsito de veículos para pesagens dinâmicas.
- c- Controle da pesagem.

d - Comunicação e transmissão de dados pertinentes a pesagem para rede gerenciadora de dados.

e - Identificação automática de veículos.

f - Análise do processo de pesagem.



**Figura 4.5 - Arquitetura do Controle Automático de Pesagem Posto Operativo**

#### 4.2.2.1 Módulo Gerenciamento do Posto

Os módulos de software do CAP deverão obedecer a uma estrutura hierárquica. É o módulo Gerenciador do Posto (GP) que comandará a transferência do controle e dos parâmetros entre os outros módulos de software do CAP, executando e sincronizando as tarefas do posto. As funções básicas são:

a- Interação com o supervisor geral dos PPOs. As eventuais formas de ação e monitoração do sistema de pesagem pelo supervisor geral são executadas através do módulo Gerenciador do Posto. O acesso é feito através do teclado do microcomputador industrial. O supervisor geral poderá, quando julgar necessário, invalidar a pesagem em andamento.

b - Interação com o módulo Controle de Pesagem e Algoritmo STDFD. O GP gerencia o módulo Controle de Pesagem e o módulo STDFD. Esta função sinaliza, assim como também sensoria, as condições operacionais de movimento do veículo sobre a plataforma.

c - Interação com o módulo Comunicação. A interação com o módulo de Comunicação faz-se nos momentos em que o PPO não está executando um processo de pesagem. Ao término de cada pesagem confirmada o GP providencia os dados para o módulo Comunicação que, por sua vez, os transmite para o sistema central.

d - Interação com o módulo Identificador. A interação com o módulo Identificador tem dois padrões distintos. Para pesagens estáticas, o Gerenciador do Posto aciona o Identificador no instante em que o condutor via cartão magnético informa que o veículo está corretamente posicionado. Numa pesagem dinâmica, o GP ativa o Identificador no instante em que é informado que foi dado início a um processo de



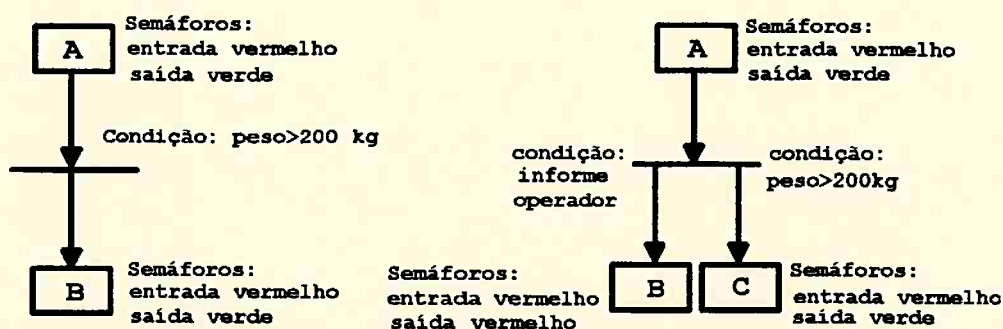
pesagem. Em ambos os casos o dado código RF fica retido no "buffer" do Identificador e somente é transferido e registrado pelo módulo Gerenciador do Posto após o algoritmo STDFD confirmar o processo.

#### **4.2.2.2 Módulo Controle de Pesagem (MCP)**

Cabe a esse módulo de software controlar o acesso e posicionamento de veículos sobre a plataforma que, em função da comunicação com o Gerenciador do Posto e STDFD, define os estados em que se encontra o PPO. O módulo MCP trabalha como uma máquina de estado.

O Módulo trabalha sobre duas operações básicas: estática e dinâmica.

Estes estados serão representados nesse capítulo através de gráficos denominados etapa/transição adaptados especificamente para este trabalho. Nesses gráficos, as condições de transição ou de disparo para mudança de estado da máquina são representadas através de uma seta e por uma linha horizontal com o respectivo informe ao lado desta, especificando quais são as condições de transição ou de disparo.



**Figuras 4.6.a e 4.6.b - Exemplo de uma máquina de estado com a respectiva simbologia de etapa/transição.**

No exemplo mostrado na figura 4.6.a, a condição de transição ou de disparo é o peso ser maior que 200 kg. Caso essa condição seja satisfeita a máquina muda do estado A para o estado B.

No exemplo mostrado na figura 4.6.b, existem duas condições possíveis e mutuamente exclusivas: peso maior que 200 kg e informe do operador. Caso a primeira aconteça, a máquina passa ao estado C, e passará para o estado se a condição informe do operador for satisfeita. Enquanto nenhuma das condições for satisfeita (figura 4.6.a e 4.6.b) ambas as máquinas permanecem no estado A.

Nesta forma de representação o texto ao lado do quadrado indicativo do estado informa qual é a principal ação da máquina neste estado. Por exemplo: na figura 4.6.a, enquanto a máquina permanecer no estado A, o semáforo de entrada aciona o refletor verde, enquanto o semáforo de saída aciona o refletor vermelho.

As duas figuras 4.7 e 4.8 dos itens 4.2.2.2.1 e 4.2.2.2.1 ilustram os estados do módulo MCP para pesagens estáticas e para pesagens dinâmicas, respectivamente. Convém ressaltar que nestas figuras não estão representadas as condições que permitem em qualquer instante, tanto ao supervisor geral como ao módulo STDFD, invalidar a pesagem em andamento e colocar o PPO no estado alarme.

#### **4.2.2.2.1 Descritivo módulo MCP para pesagem estática.**

Conforme o afirmado, o módulo MCP opera como uma máquina de estado. Portanto, somente altera o seu estado quando tem satisfeitas as condições de transição.

O diagrama de blocos a seguir mostra a sequência de operação desta máquina de estado no esquema voltado para pesagens estáticas.

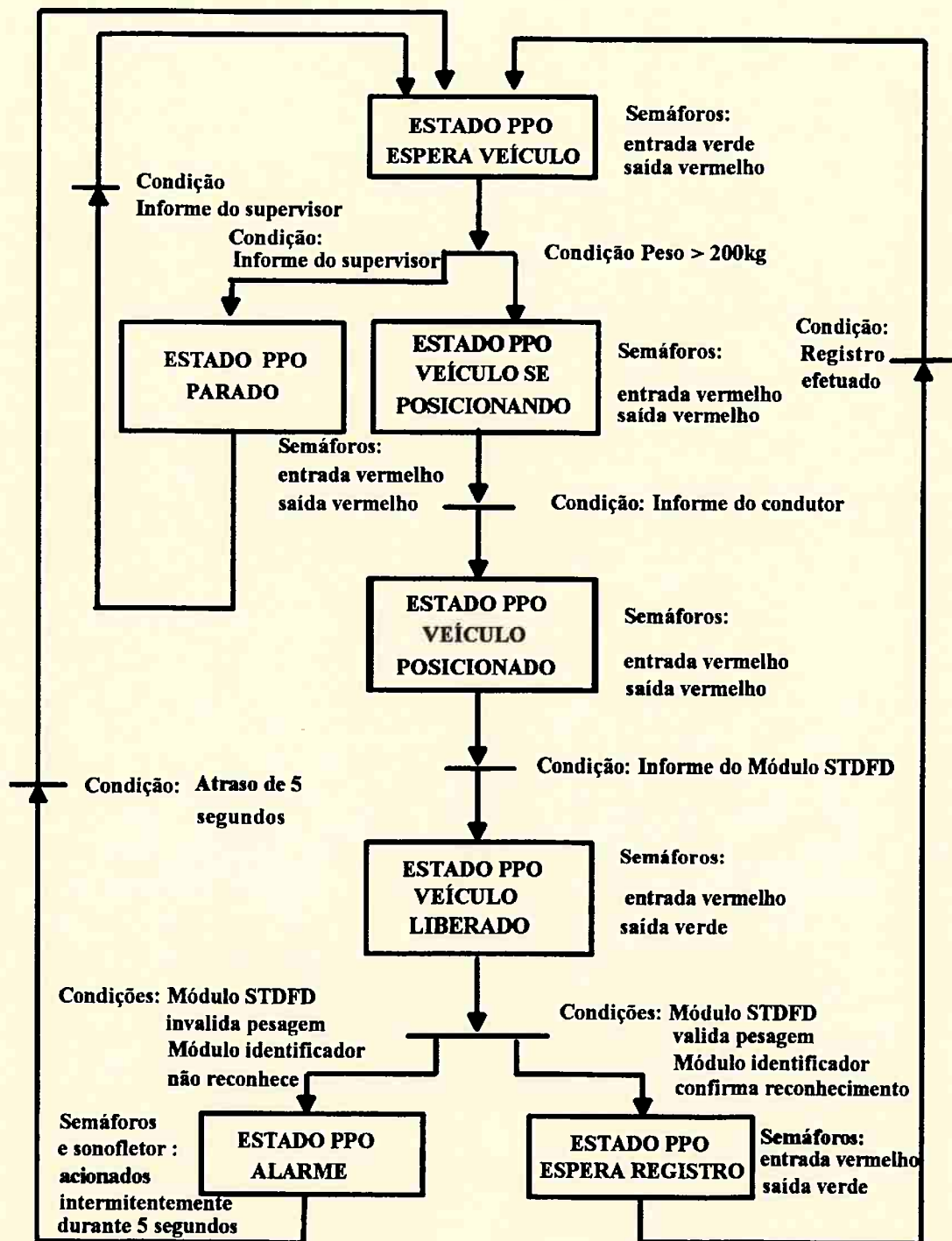


Figura 4.7 - Módulo MCP para pesagens estáticas

#### 4.2.2.2.2 Descritivo módulo MCP para pesagem estática.

Numa pesagem dinâmica, o operador apenas interfere para colocar o PPO no estado PARADO ou para abortar uma pesagem quando julgar necessário.

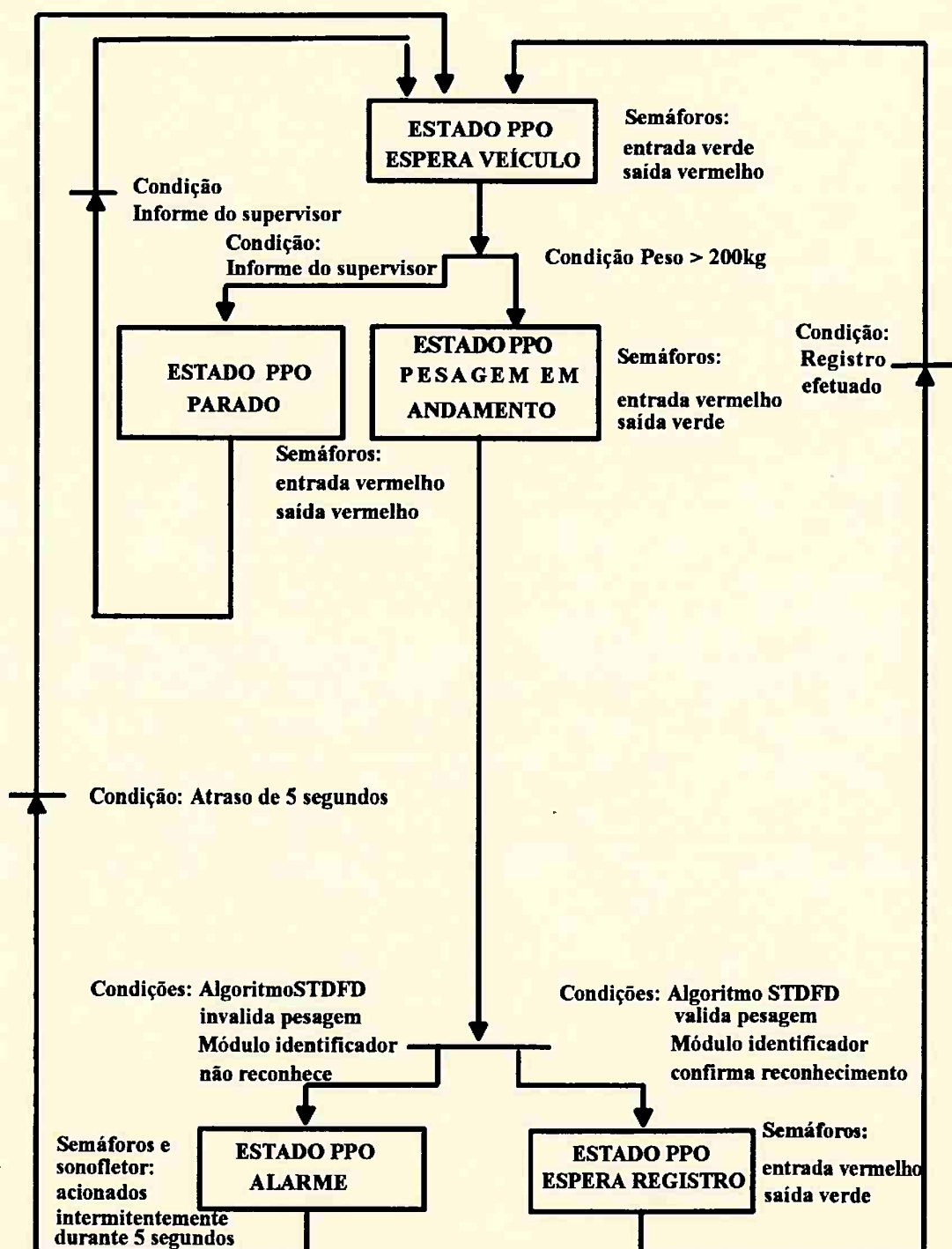


Figura 4.8 - Módulo MCP para pesagens dinâmicas.

#### **4.2.2.3 Módulo Identificador**

O módulo Identificador é acionado, tanto para pesagens estáticas quanto para pesagens em movimento, no instante em que o módulo MCP muda do estado de ESPERA VEÍCULO para Veículo se POSICIONANDO ou PESAGEM EM ANDAMENTO.

A função desse módulo é identificar e registrar o código transmitido em RF pelo transmissor instalado no veículo.

#### **4.2.2.4 Módulo Comunicação**

No instante em que uma pesagem é validada, o módulo Comunicação é acionado pelo módulo Gerenciador do Posto para que este transmita os dados relativos à pesagem para a rede gerenciadora de dados.

A rede gerenciadora também pode solicitar que o módulo comunicação peça ao módulo gerenciador do posto dados relativos a uma pesagem efetuada.

Os dados transmitidos da pesagem são:

- a- Pesagem número.
- b- Horário da pesagem.
- c - Valor do peso (bruto ou tara).
- d - Código do transmissor identificado.
- e - Número de patamares da pesagem.

f - Código do PPO.

g - Código do operador responsável do PPO

### **4.3 Análise global de desempenho comparativo entre os Sistemas Convencionais e o SIPPA**

O SIPPA integra os Postos de Pesagens e funcionários para atingir a qualidade total do processo de pesagem. Dentro desta visão e estrutura de operação todos os funcionários são responsáveis pelo processo, uma vez que o SIPPA permite também que se faça a rastreabilidade de qualquer pesagem, sabendo-se dessa forma onde e quando determinada ocorrência teve acontecimento. Dentro do conceito SIPPA não existem mais postos de pesagens isolados nem o grande trâmite de documentação já descrito no capítulo II.

#### **4.3.1 Descritivo operacional do SIPPA**

A operacionalidade do SIPPA proposto introduz características específicas que o diferenciam dos atuais sistemas de pesagens. Como já vimos no capítulo II, num sistema convencional de pesagem cabe ao posto de pesagem e ao operador a tarefa do cadastramento do veículo.

Esse cadastramento é efetuado quando o motorista entrega o documento padrão ao balanceiro responsável pela pesagem. No sistema SIPPA o veículo primeiramente se dirigirá a um PPC para que sejam efetuadas as seguintes operações:

a- Recolhimento do documento padrão de pesagem e conferência dos dados de placa com as placas do veículo e entrega ao condutor do cartão magnético com o mesmo código do transmissor RF.

b - Instalação do transmissor RF no veículo.

c- Cadastramento do número do transmissor RF e dos dados do veículo no sistema gerenciador da rede.

As operações (b) e (c) produzirão um boletim no banco de dados que estará relacionado de maneira intransferível ao veículo, uma vez que o transmissor RF possui a sua própria frequência de transmissão e lacre mecânico e, portanto, somente poderá ser removido no próprio ou em algum outro PCC.

Em seguida o veículo será conduzido para um PPO para realizar a pesagem de bruto ou de tara. Neste PPO o seu reconhecimento será automático, uma vez que o módulo identificador fará o reconhecimento do código da frequência emitida pelo transmissor RF.

Terminado o processo de pesagem o motorista conduzirá o veículo para o local de carga ou de descarga dentro da área portuária restrita, retornando em seguida para o fechamento da pesagem no PPO, que ao ser concluída direcionará o veículo a um PCC para que seja removido o transmissor RF e devolvido o cartão. É quando o operador do PCC irá digitar o número do transmissor e a informação de fechamento de pesagem. O PCC então acessará o banco de dados de pesagens em aberto. O sistema fechará a pesagem contabilizando a carga transportada e dará início à impressão do



documento padrão em duas ou mais vias, sendo que uma delas ficará de posse do condutor do veículo.

#### 4.3.2 Medições de desempenho dos Postos de Pesagem atuais e dos PCCs e PPOs do SIPPA

Os estudos e observações de desempenho locais mostraram que os tempos médios dos processos de pesagem dos sistemas informatizados convencionais e no SIPPA são mostrados na tabelas 4.1 e 4.2.

**Tabela 4.1 Tempos típicos em segundos das operações de um sistema informatizado convencional**

<b>S I S T E M A C O N V E N C I O N A L</b>	<b>ENTRADA</b>	Tempo de adentramento e posicionamento sobre a plataforma	<b>10 a 25</b>
		Tempo de cadastramento do veículo e impressão do Boletim de Abertura da pesagem	<b>100 a 130</b>
		Tempo de saída do veículo após a liberação	<b>10 a 20</b>
		<b>Tempo total para 1ª pesagem (abertura)</b>	<b>120 a 175</b>
	<b>SAÍDA</b>	Tempo de adentramento e posicionamento sobre a plataforma	<b>10 a 25</b>
		Tempo de conferência e digitação do código Boletim Aberto e impressão do Boletim de Fechamento da pesagem	<b>15 a 30</b>
		Tempo de saída do veículo após a liberação	<b>10 a 20</b>
		<b>Tempo total para 2ª pesagem (fechamento)</b>	<b>35 a 55</b>
	<b>MÁXIMO DAS OPERAÇÕES</b>		<b>120 a 175</b>

**Tabela 4.2 - Tempos típicos em segundos das operações de um sistema SIPPA operando para pesagens estáticas.**

<b>SIPPA</b>	<b>ENTRADA</b>	<b>PCC</b>	Tempo de adentramento	<b>10 a 20</b>
			Tempo de cadastramento e instalação do transmissor RF	<b>100 a 130</b>
			Tempo de saída	<b>10 a 20</b>
			<b>Total</b>	<b>120 a 170</b>
		<b>PPO</b>	Tempo de adentramento, pesagem e saída do veículo sobre a plataforma	<b>30 a 55</b>
			<b>Total</b>	<b>30 a 55</b>
	<b>SAÍDA</b>	<b>PPO</b>	Tempo de adentramento, pesagem e saída do veículo sobre a plataforma	<b>30 a 55</b>
			<b>Total</b>	<b>30 a 55</b>
		<b>PCC</b>	Tempo de adentramento	<b>10 a 20</b>
			Tempo de retirada do transmissor RF, digitação do código e impressão do boletim de fechamento de pesagem	<b>15 a 30</b>
<b>Total</b>			<b>25 a 50</b>	

No sistema SIPPA os eventos ocorridos nos Postos de Pesagens Operativos (PPOs) e nos Postos de Cadastramentos e Controle (PCCs) são independentes. Portanto, o número de PPOs e PCCs pode ser dimensionado conforme a necessidade, para se evitar congestionamentos nos pontos de maiores tempos de operação de processo. O SIPPA permite ainda o ajuste dinâmico dos parâmetros operativos, podendo dessa forma contornar situações distintas de demanda.

#### **4.3.3 Dimensionamento operativo do SIPPA**

O dimensionamento do número de servidores em série e em paralelo é efetuado visando-se minimizar os tempos de atendimento, tempos de espera em filas e obter um sistema ergótico. Para tanto é necessário atentar para a frequência de chegada

de entidades a serem processadas pelo sistema, e a razão de atendimento de cada servidor.

Na análise de um sistema temos:

$\lambda$  frequência de chegada de entidades no sistema.

$\frac{1}{\lambda}$  tempo médio entre chegadas de entidades.

$\mu_k$  frequência de atendimento de cada servidor.

Determina-se o gargalo do sistema tomando-se o menor

$$\mu_g = \mu_k \times n_p \quad (4.1)$$

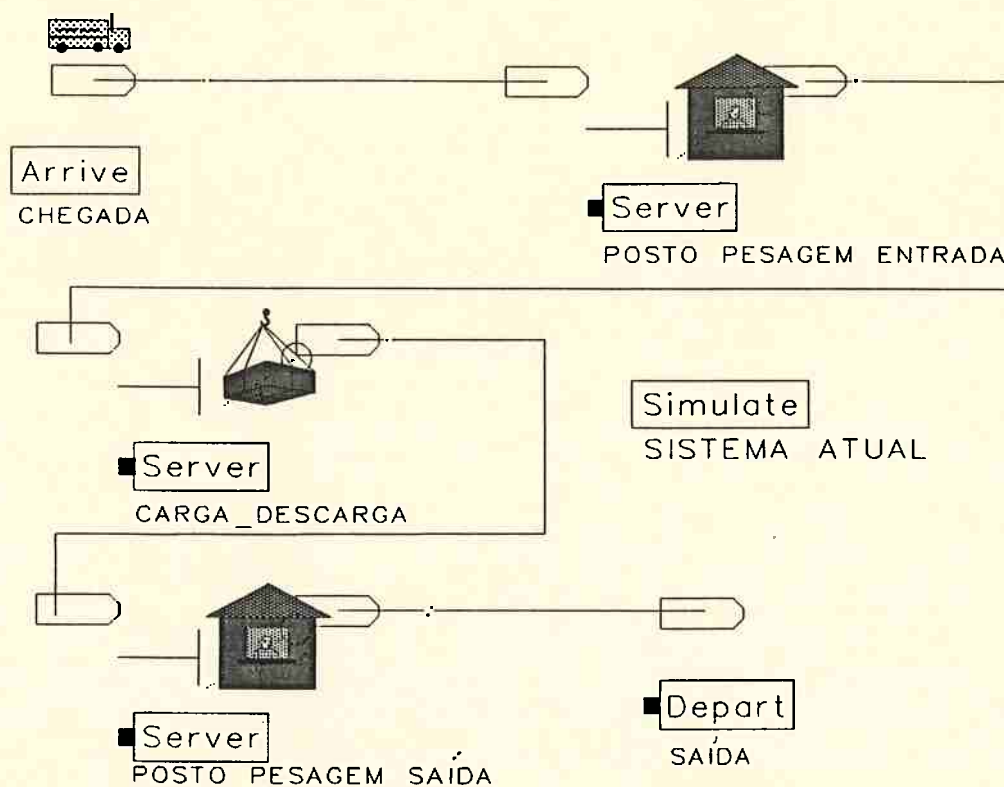
onde  $n_p$  é o número de servidores em paralelo com a menor frequência de atendimento.

Caso  $\lambda > \mu_g$  o sistema é instável. Ou seja, o tempo que cada nova entidade leva para ser processada no sistema é crescente.

Dada a complexidade do número de variáveis e configurações possíveis, utilizamos nesse trabalho o programa de simulação ARENA (apêndice) como ferramenta para prever o desempenho do SIPPA durante um período de 240 minutos de operação contínua.

### 4.3.3.1 Simulação de pesagem do Sistema Convencional.

A figura seguinte ilustra o sistema:



**Figura 4.9 - Diagrama de blocos de um Sistema Convencional**

Os parâmetros da simulação foram:

O tempo de percurso (rota) entre fila do ponto de chegada e Posto de Pesagem de Chegada foi determinado para uma distribuição uniforme definida como: UNIF(0,2 ; 0,4) minutos.

O tempo de atendimento no Posto de Pesagem de Chegada foi determinado para uma distribuição triangular definida como: TRIA(2 ; 2,45 ; 2,91) minutos.

O tempo de percurso (rota) entre Posto de Pesagem de Chegada e Setor de Carga e Descarga foi determinado para uma distribuição triangular definida como:  $TRIA(0,8 ; 1,4 ; 2)$  minutos.

O tempo de atendimento no Setor de Carga e Descarga foi determinado para uma distribuição triangular definida como:  $TRIA(0,5 ; 1,4 , 2)$  minutos. Capacidade do setor de três servidores em paralelo.

O tempo de percurso (rota) entre Setor de Carga e Descarga e Posto de Pesagem de Saída foi determinado para uma distribuição triangular definida como:  $TRIA(0,8 ; 1,4 ; 2)$  minutos

O tempo de atendimento no Posto de Pesagem de Saída foi determinado para uma distribuição triangular definida como:  $TRIA(0,58 ; 0,75; 0,92)$  minutos.

O tempo de percurso (rota) de saída do Posto de Pesagem de Saída para fora do observado foi determinado para uma distribuição uniforme definida como:  $UNIF(0,1 ; 0,15)$  minutos.

O desempenho desta configuração do Sistema Atual foi analisado para duas razões distintas de chegada:

a - Razão de chegada determinada para distribuição exponencial  $EXPO(0,33)$  de minutos, com limitação de 200 veículos (entidades). Tabela 4.4.

b - Razão de chegada determinada para distribuição exponencial  $EXPO(0,5)$  de minutos. Tabela 4.5.

A tabela seguinte ilustra a sequência de eventos e os tempos dispendidos nos percursos e atendimentos.

**Tabela 4.3 - Sequência de eventos com os respectivos tempos dispendidos no Sistema Convencional.**

EVENTO	TRAJETO	TEMP. DE	PROCESSO	TEMP. DE
	ORIGEM-DESTINO	PERCURSO		ATENDIMENTO
1	Chegada - PE	UNIF(0,2;0,4)	X	X
2	X	X	Abertura pesagem	TRIA(2;2,45;2,91)
3	PE - C/D	TRIA(0,8;1,4;2)	X	X
4	X	X	Carga/descarga	TRIA(0,5;1,4;2)
5	C/D - PS	TRIA(0,8;1,4;2)	X	X
6	X	X	Fechamento	TRIA(0,58;0,75;0,92)
7	PS - Saída	UNIF(0,1;0,15)	X	X

**Tabela 4.4 - Simulação de atendimento de pesagem de veículos em Sistema Convencional. Razão de chegada de veículos EXPO (0,33) com limitação máxima de 200 veículos.**

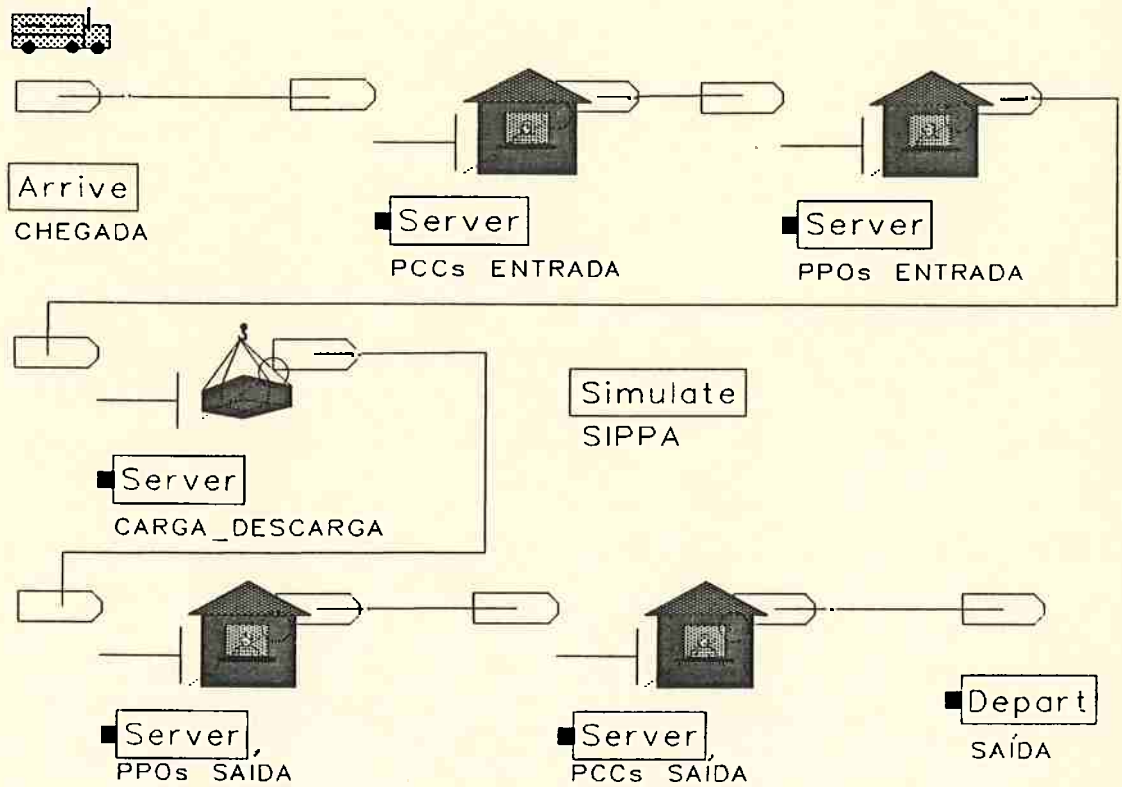
CONFIG.		TEMPO NO SISTEMA			NÚMERO DE VEÍCULOS EM FILA									Nº VEÍC. NÃO AT.	Nº VEÍC. AT.
PE	PS	MÉDIO	MÍN.	MÁX.	MÉDIO			MÁXIMO			FINAL				
					PE	C/D	PS	PE	C/D	PS	PE	C/D	PS		
1	1	106,86	7,48	207,20	123,38	0	0	173	0	0	101	0	0	102	96
2	1	92,66	6,65	177,93	74,63	0	0	147	0	1	4	3	1	8	190
3	1	56,11	7,08	102,59	40,19	0	0,37	117	0	2	0	0	0	0	200
4	1	49,87	7,05	94,01	23,87	0	11,47	97	1	38	0	0	0	0	200
2	2	91,39	6,65	175,47	74,02	0	0	146	0	0	5	0	0	5	189
3	2	56,33	7,08	106,94	40,71	0	0	122	0	0	0	0	0	0	200
4	2	35,94	7,05	62,76	23,73	0	0	91	1	0	0	2	0	0	200
5	2	21,33	6,92	35,25	11,47	0	0	58	0	3	0	0	0	0	200
6	2	13,83	6,99	20,74	5,06	0	0	32	3	3	0	0	0	0	200

**Tabela 4.5 Simulação de atendimento de pesagem de veículos em Sistema Convencional. Razão de chegada EXPO (0,5).**

CONFIG.		TEMPO NO SISTEMA			NÚMERO DE VEÍCULOS EM FILA									Nº VEÍC.	Nº VEÍC.
PE	PS	MÉDIO	MÍN.	MÁX.	MÉDIO			MÁXIMO			FINAL			NÃO AT.	AT.
					PE	C/D	PS	PE	C/D	PS	PE	C/D	PS		
1	1	100,35	7,99	190,77	200,30	0	0	390	0	0	389	0	0	389	96
2	1	77,02	7,26	145,94	144,44	0	0	282	0	0	281	0	0	281	193
3	1	51,37	7,3	88,5	84,48	0	0	158	0	1	156	0	0	156	287
4	1	51,9	7,42	88,14	54,91	0	34,05	98	3	68	96	1	68	165	315
2	2	73,38	6,66	141	134,65	0	0	261	0	0	260	0	0	260	191
3	2	44,92	7,3	86,46	70,34	0	0	147	0	0	145	0	0	145	286
4	2	32,82	6,87	52,8	51,38	0	0	103	3	0	103	3	0	106	380
5	2	9,44	6,55	17,57	4,42	0	0	20	0	3	16	0	0	16	439
6	2	7,97	6,29	10,97	0,72	0	0	7	3	0	0	0	0	0	445

### 4.3.3.2 Simulação de pesagem em SIPPA

A figura seguinte ilustra um SIPPA .



**Figura 4.10 - Diagrama de blocos de um SIPPA**

A tabela seguinte ilustra a sequência de eventos e os tempos dispendidos nos percursos e atendimentos.



**Tabela 4.6- Sequência de eventos com os respectivos tempos dispendidos no SIPPA**

<b>EVENTO</b>	<b>TRAJETO ORIGEM-DESTINO</b>	<b>TEMP. DE PERCURSO</b>	<b>PROCESSO</b>	<b>TEMP. DE ATENDIMENTO</b>
1	<b>Chegada - PCCE</b>	<b>UNIF(0,2;0,4)</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
2	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>Cadastramento</b>	<b>TRIA(2;2,45;2,91)</b>
3	<b>PCCE - PPOE</b>	<b>UNIF(0,3;0,8)</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
4	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>Abertura pesagem</b>	<b>TRIA(0,5;0,71;0,92)</b>
5	<b>PPOE - C/D</b>	<b>TRIA(1,1;1,6;2)</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
6	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>Carga e descarga</b>	<b>TRIA(0,5;1,4;2)</b>
7	<b>C/D - PPOS</b>	<b>TRIA(1,1;1,6;2)</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
8	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>Fechamento pesagem</b>	<b>TRIA(0,5;0,71;0,92)</b>
9	<b>PPOS - PCCS</b>	<b>UNIF(0,3;0,15)</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
10	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>FINALIZAÇÃO</b>	<b>TRIA(0,41;0,62;0,83)</b>
11	<b>PCCS - Saída</b>	<b>UNIF(0,1;0,15)</b>	<b>X</b>	<b>X</b>

Similarmente ao Sistema Convencional o desempenho do SIPPA foi analisado para duas razões distintas de chegada:

a - Razão de chegada determinada para distribuição exponencial EXPO(0,33) de minutos, com limitação de 200 veículos (entidades). Tabela 4.7.

b - Razão de chegada determinada para distribuição exponencial EXPO(0,5) de minutos. Tabela 4.8.

**Tabela 4.7 - Simulação de atendimento de pesagem de veículos no SIPPA. Razão de chegada de veículos EXPO (0,33) minutos com limitação máxima de 200 veículos**

CONFIGURAÇÃO			TEMPO NO SISTEMA			NÚMERO VEÍCULOS EM FILA												Nº VEÍC. NÃO AT.	Nº VEÍC. AT.							
PCCS	PPOS	PPOE	MÉDIO	MÍN.	MÁX.	MÉDIO				MÁXIMO				FINAL												
						PCCS	PPOS	PPOE	C/D	PCCS	PPOS	PPOE	C/D	PCCS	PPOS	PPOE	C/D			PCCS	PPOS					
2	1	1	89,97	10,14	171,46	70,74	0,12	0	0,05	0,02	142	1	0	1	1	4	0	0	0	0	0	0	0	4	188	
3	1	1	62,57	10,42	113,73	43,30	0,18	0,81	0,59	0,04	128	2	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200
4	1	1	51,16	9,08	90,88	24,42	9,06	0	0,65	0,09	97	30	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200
4	2	1	45,79	10,10	85,55	21,09	0,03	0	8,53	0,07	90	2	1	29	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200
4	2	2	39,13	10,11	68,56	23,43	0,06	0	0,03	0,06	94	2	1	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200
4	2	2	40,53	9,93	72,73	25,19	0,09	0	0,53	0,01	103	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200
5	2	1	44,59	9,79	76,24	11,14	0,09	0,2	17,36	0,09	54	3	2	61	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200
5	2	2	36,54	9,88	62,79	10,46	0,15	0	0,05	11,31	52	3	0	2	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200
5	2	2	23,25	9,65	39,57	10,66	0,13	0	0,60	0,02	60	3	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200



#### 4.4 Análise comparativa de desempenho e custo de Sistema Convencional e SIPPA.

Tomando-se por base os equipamentos atuais e levando-se em conta custos de investimento, custos operacionais e de manutenção para um período de cinco anos temos a seguinte tabela.

**Tabela 4.9 - Indicativo de custo de posto de pesagem para um período de 5 anos de operação**

TIPO DE POSTO	CUSTO TOTAL PARA 5 ANOS DE OPERAÇÃO
POSTO DE CADASTRAMENTO E CONTROLE (PCC)	US\$ 57.500
POSTO DE PESAGEM OPERATIVO (PPO)	US\$ 68.500
POSTO PESAGEM (CONVENCIONAL)	US\$ 117.500

Dessa forma temos os custos para diversas configurações de um Sistema Convencional e um SIPPA.

**Tabela 4.10 - Indicativo de custos de um Sistema Convencional para um período de cinco anos de operação**

CONFIGURAÇÃO		CUSTO
PE	PS	
1	1	235.000
2	1	352.500
3	1	470.000
4	1	587.500
2	2	470.000
3	2	587.500
4	2	705.000
5	2	822.500
6	2	940.000

**Tabela 4.11 - Indicativo de custos de um SIPPA para um período de 5 anos de operação**

CONGIGURAÇÃO				CUSTO
PCCE	PPOE	PPOS	PCCS	
2	1	1	1	309.500
3	1	1	1	367.000
4	1	1	1	424.500
3	2	1	1	435.500
4	2	1	1	493.000
4	2	2	1	561.000
4	2	2	2	619.000
5	2	1	1	550.500
5	2	2	1	619.000
5	2	2	2	679.500

O enfoque principal da análise comparativa será baseado em sistemas cujos custos globais sejam semelhantes, para que se possa observar caso a caso as vantagens da proposta desse trabalho.

Assim sendo, podemos verificar que três comparações podem ser feitas conforme está indicado na tabela 4.12.

**Tabela 4.12 - Estudo comparativo de desempenho entre SIPPA e Sistema Convencional para um período de operação de 240 minutos com uma taxa probabilística exponencial de 0,5 minutos de chegada de veículos.**

ANÁLISE	SISTEMA E CONFIG.	TEMPO MÉDIO POR VEÍCULO	Nº DE VEÍC. NÃO ATENDIDOS	Nº DE VEÍC. ATENDIDOS	PORCENTAGEM ENTRE Nº DE VEÍC. AT.	DIFERENÇA ENTRE VEÍC. ATENDIDOS
<b>1º</b>	SISTEMA CONFIG. 2-1	77,2	281	193	100,00%	<b>88</b>
	SIS. SIPPA CONFIG. 3-1-1-1	62,1	197	281	145,60%	
<b>2º</b>	SISTEMA CONFIG. 3-1	51,3	156	287	100,00%	<b>34</b>
	SIS. SIPPA CONFIG. 4-1-1-1	43,6	133	321	111,80%	
<b>3º</b>	SISTEMA CONFIG. 4-2	32,8	106 106	380	100,00%	<b>64</b>
	SIS. SIPPA CONFIG. 5-2-2-2	12,4	7	444	116,80%	

Analisando-se os três itens pode-se concluir que:

**a - Tempo médio de espera do usuário para realização de pesagem.**

Neste item observa-se uma redução de 20,1% a 62,2% no tempo de atendimento do SIPPA em relação ao Sistema Convencional.

**b - Capacidade produtiva por período de operação de 240 minutos.**

Observa-se que a diferença percentual incremental de veículos atendidos do SIPPA em relação ao Sistema Convencional varia entre 11,8% a 45,6%.

**c - Retorno do investimento.** Considerando-se a tarifa média por pesagem de US\$ 5,5 o benefício adicional do Sistema Proposto em relação ao Sistema Convencional para um período de cinco anos será da ordem de:

**1° Caso - US\$  $2.178 \times 10^3$**

**2° Caso - US\$  $841 \times 10^3$**

**3° Caso - US\$  $1.584 \times 10^3$**

## ***Capítulo 5***

---

### **CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS**

---

Este trabalho propôs um Sistema Integrado de Postos de Pesagem que opera com altos índices de desempenho, produtividade e confiabilidade, pois a correta aferição da massa e a agilidade na documentação da mesma influem de maneira direta nos custos finais dos produtos e, portanto, são de vital importância para qualquer economia que pretenda ser competitiva dentro dos parâmetros internacionais.

Para que tal proposta fosse feita, desenvolvida e analisada quanto as questões de desempenho e qualidade dos serviços prestados, foi feita inicialmente uma análise criteriosa dos atuais sistemas de pesagem.

Com base nesse estudo e levantamento pode-se identificar diversos pontos de morosidade operativa e os procedimentos vulneráveis a equívocos que os Sistemas Atuais estão sujeitos e que, inclusive, contribuem para o encarecimento final dos serviços prestados.



Identificada, portanto, a necessidade da otimização dos recursos, do aumento dos índices de confiabilidade e de desempenho, partiu-se para o desenvolvimento da proposta apresentada nesse trabalho.

O Sistema Integrado de Postos de Pesagem, denominado SIPPA, baseia-se numa estrutura modular e hierarquizada de postos de pesagem que trabalha sob o controle de uma rede gerenciadora de tempo real.

A primeira parte desta proposta dedica-se ao desenvolvimento de um Posto de Pesagem Autônomo que tenha capacidade de operação automática e que opere de maneira independente do fator humano.

Este mesmo posto deve ainda ser capaz de reconhecer e distinguir os processos de pesagem corretamente executados e os processos efetuados com equívocos.

Uma vez que um processo de pesagem é formado pelas macrotarefas de posicionamento e aquisição do peso do veículo e a documentação e tratamento de dados, foi desenvolvida uma arquitetura hierárquica de controle automático que define o Posto de Pesagem Operativo designado como PPO, e que o habilita a executar e controlar os processos de pesagem com ganho de eficiência e controle de supervisão de equívocos de processo e de equívocos de digitação e troca de documentação.

O controle dos processos é efetuado pelo Controle Automático de Pesagem que recebe o status de cada operação através do módulo e algoritmo STDFD descrito no capítulo 3.

O algoritmo STDFD desenvolvido tem por finalidade diferenciar um processo corretamente efetuado de um não corretamente efetuado através da análise do valor do peso sobre a plataforma em função do tempo. Esse trabalho é efetuado em duas etapas. Primeiramente, o algoritmo STDFD processa os valores lidos de um monitor de pesagem comum, filtra os ruídos oriundos e executa o tratamento dos dados para formar a curva de pesagem do processo. Uma vez efetuada essa operação, inicia-se a análise da curva comparando-a com a curva característica de um processo efetuado corretamente. Terminada essa segunda tarefa o processo em andamento é ou não validado pelo algoritmo STDFD.

O capítulo 3 ilustra os ensaios realizados com veículos de 4 e 6 eixos que permitem concluir a eficiência do algoritmo e a filosofia proposta para a análise dos processos de pesagem.

Dentro da arquitetura do Posto de Pesagem Operativo está integrado um módulo de identificação automática de veículos. Este módulo denominado identificador permite que a tarefa de documentação da pesagem no posto independa do fator humano e, portanto, esteja livre de eventuais equívocos procedurais. O módulo também executa a supervisão dos dados cadastrados em rede de tempo real e inibe eventuais trocas de documentos.

No sistema SIPPA o cadastramento e a documentação do processo são desvinculados do momento da pesagem e, portanto, o SIPPA possibilita a divisão de tarefas entre centros de cadastramento, que têm por finalidade dar entrada documentada do veículo na companhia, e centros de pesagem. Dessa forma, os centros de cadastramento denominados Postos de Cadastramento e Controle (PCC), que requerem apenas terminais informatizados e de baixo custo, poderão ser implementados minimizando tempos de espera do fluxo de transporte, deixando para os centros de pesagem, ou seja, para os PPOs, a tarefa de realizar a aferição da massa do veículo.

Esta arquitetura também proporcionou efetuar o controle automático da identificação do veículo em todas as etapas do processo de pesagem carregado e descarregado.

Para se medir e comprovar o ganho de eficiência operativa foram feitas diversas simulações com diferentes configurações possíveis de um Sistema Convencional e um SIPPA. As simulações foram feitas utilizando-se o software ARENA, tomando-se por base duas razões exponenciais probabilísticas de chegada de veículos (EXPO 0,33 e EXPO 0,5) para prever o desempenho dos dois sistemas.

O enfoque principal da análise comparativa foi baseado em sistemas cujos custos globais de investimento, operação e manutenção para um período estimado de cinco anos fossem equivalentes.

Analisando-se os resultados verifica-se que o SIPPA permite uma redução do tempo de espera do usuário entre 20,1% a 62,2%, e que a capacidade produtiva do

SIPPA é de 11,8% a 45,6% maior que o Sistema Convencional. Esse incremento da capacidade produtiva permite um lucro operacional em relação a um Sistema Convencional equivalente a ordem de dois milhões de dólares num período de cinco anos.

Finalizando, o sistema SIPPA foi concebido visando uma padronização da automação dos postos de pesagem e a integração em rede centralizadora de gerenciamento de dados.

Desta forma, pode-se obter: confiabilidade dos processos de pesagem, agilização dos processos e redução dos tempos operacionais, otimização da produtividade operacional da manutenção preditiva e corretiva, integração dos postos às necessidades operacionais definidas pelo controle de operações do trânsito dos veículos e do fluxo de movimentação de cargas, possibilidade de utilização de técnicas e ferramentas de inteligência artificial na escalação e definição da movimentação dos postos, acompanhamento e controle do fluxo de cargas, cadastramento dos operadores e controle de acesso e operação do posto através de senha individual de cada operador, reestruturação, padronização e minimização do trâmite de documentos circulantes entre os setores envolvidos nos processos de pesagem, controle financeiro das operações e significativa agilização administrativa, reduzindo os tempos de cobranças das pesagens e, finalmente, a possibilidade de intercâmbio comercial e acompanhamento do fluxo de cargas entre usuários, companhias de transporte, administradores do sistema portuário, Receita Federal e Departamento Nacional de Estradas e Rodagens.

O estudo e o desenvolvimento de Sistemas Integrados de Pesagem abrem novas possibilidades dentro da área de automação e vêm de encontro às necessidades da constante procura da melhoria dos modos produtivos e de racionalização energética e de recursos, sem as quais cada vez mais será difícil a sobrevivência de qualquer parque industrial ou setor prestador de serviços.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] CHARNIAK, E.; MCDERMOTT, D. **Intoduction to artificial intelligence**. Reading, Addison-Wesley, 1985.
- [2] FREEDMAN, P. Time, Petri nets, and robotics. **IEEE Transactions on Robotics and Automation**, v. 7, n. 4, p.417-21, Aug. 1991.
- [3] PRESSMAN, R. S. **Software engineering: a practitioner's approach**. New York, McGraw-Hill, 1987.
- [4] ANDERS, K.; ROTH, N.; FROHN, A. Simultaneous in situ measurements of size and velocity of burning droplets **Particle & Particle Systems Characterization**, v.8,n.2,p.136-41,1991.
- [5] MANKOSA, M. J.; ADEL, G. T.; A procedure for blending and mass balancing fine particle size data **Particle & Particle Systems Characterization**, v.8, n.2, p. 164-9, 1991.
- [6] POTTS, A. C.; PLC in-line blending in a small single-process facility. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXHIBIT**, New Orleans, 1990. **Proceedings**. Research Triangle Park, ISA, 1990. v.1, p.17-24. (Advances in Instrumentation and Control, 45)
- [7] BROWNE, D. L. New techiques for managing water system computer controls In: **INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXHIBIT**, New Orleans, 1990. **Proceedings**. Research Triangle Park, ISA, 1990. v.1, p.321-9. (Advances in Instrumentation and Control, 45)
- [8] MCINTYR, C.; MONIER-WILLIAMS, S., Automation of brewin operations using modern batch control tecniques. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXHIBIT**, New Orleans, 1990. **Proceedings**. Research Triangle Park, ISA, 1990. v.1, p.317-48. (Advances in Instrumentation and Control, 45)
- [9] V. TY MEL'NIKOV, V. TY.; SNEGOV, V. S.; TANAEV, D. B., SMIRNOVA, G. A., IVANOV, A. S. A system for automation calibration of standart balance weights of category 1 and balance weights of precision class,1. **Measurement Techniques**, v. 33, n. 9, p.897-9, 7eb. 1991.
- [10] ORGANISATION INTERNATIONALE DE MÉTROLOGIE LÉGAL. **Instuments de pesage à fonctionnent non automatique**. Partie 1: Exigences métrologiques et techniques - essais. Paris, 1988.

- [11] CHAJED, D.; LOWE T. J. An  $O(nm)$  algorithm for a special case of the multimedean location problem on a tree. **European Journal of Operational Research** v.63, p. 222-30, 1992.
- [12] NAIR, S. K. A model for equipment replacement due to technological obsolescence. **European Journal Of Operational Research** v. 63, p. 207-221, 1992.
- [13] KAO, C.; CHIANG, D.; WU, C.; TSAI, C. C. Knowledge-based approach to the optimal dock arrangement. **International Journal on Systems amd Science**, v.21, n.11, p.2209-15, 1990.
- [14] TERAL, S. Vehicle weighing in motion with fiber optic sensors. In: INTERNATIONAL CONFERENCE CONFERENCE on SMART STRUCTURES and MATERIALS, 1<sup>o</sup>, Glasgow 1992.
- [15] FADUL, F.; BAS, F. Stand alone programmable controller for time-critical robotic systems. **Robotics & Computer Integrated Manufacturing**, v. 9, n. 3, p. 191-2, 1992.
- [16] BOUCHER, T. O.; JAFARI, M. A.; MEREDITH, G. A. Petri net control of automated manufacturing cell. **Computers and Industrial Engineering**, v. 17, n. 1/4, p 459-63, 1989.
- [17] TSUI, L. Y.; CHANG, C. A microcomputer based decision support tool for assigning dock doors in freight yards. **Computers and Industrial Engineering**, v. 23, n. 1/4, p 309-12, 1992.
- [18] PETERSON, J. L. **Petri net theory and modelling of systems**. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1981.
- [19] ATHANI, V. V. Electronic weighing systems. **Journal of the Institution of Engineers (India)**. Eletronics and Telecommunication Engineering Division, v. 72, n.4, p.122-5, Feb 1992.
- [20] MORELLI, S. Sistema de alocação dinâmica de caminhões - ASDC In: CONGRESSO NACIONAL DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL, São Paulo 1990. CONAI '90 São Paulo, s.m., 1990.
- [21] ALLOCCA, J. A.; STUART, A. **Transducers theory & applications** Reston Publishing, 1990.

- [22] SCHANEIDERMAN, R. RFID tags locate growing wireless markets. **Microwaves & RF**, v. 33, n. 2, Feb. 1994.
- [23] GELENBE, E.; PUJOLLE, G. **Introduction to queueing networks**. John Wiley, New York, 1987.
- [24] KLEINROCK, L. **Queueing systems**. New York, John Wiley, 1975.
- [26] MORRISON, N. **Introduction to sequential smoothing and prediction**. New-York, McGraw-Hill, 1969.
- [27] FRODIGH, M. Bounds on the performance of DCA-algorithms in highway microcellular systems **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, v. 43 n. 3 p. 420-7, Aug 1994.
- [28] GAVAN, J. Analysis, computations, and mitigation of radio systems' mutual interference effects in collocated vehicular transceivers **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, v. 43, n. 3, p. 447-56, Aug. 1994.
- [29] LIN, Y. B. Determining the user locations for personal communications services networks **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, v. 43, n. 3, p. 466-73, Aug 1994.
- [30] FARQUI, E. A. **Automação e informatização aplicadas a controle e supervisão de processos de pesagem**. São Paulo, 1994 Tese (Doutorado) Escola Politécnica Universidade de São Paulo.
- [31] MORAES, C. C.; PIQUEIRA, J. R. C.; PEREIRA, S. L.; ALVES FILHO, M. A. F.; PETRONE E.; ASSARITTI, I.; SALVI, L. **Sistema centralizado de gerenciamento de postos de pesagem automatizados**: São Paulo, EPUSP 4v. 1991 (RT-EPUSP/CODESP).
- [32] NIEHAUS, A.; STENGEL, R. F. Probability-based decision making for automated highway driving **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, v. 43 n. 3, p.626-34, Aug 1994.
- [33] KIRSON, A. M. RF Data communications considerations in advanced driver information systems **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, v. 40 n. 1, p.51-5, Feb 1991.
- [34] MICHALOPOULOS, P. G. Vehicle detection video through image processing: the autoscope system **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, v. 40 n. 1, p.21-9 Feb 1991.



- [35] POWELL, W. B. Optimization models and algorithms: an emerging technology for the motor carrier industry **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, v. 40 n. 1, p.48-80, Feb 1991.
- [36] FENTON, R. E.; MAYHAN, R. J. Automated highway studies at the Ohio State University-an overview **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, v. 40 n. 1, p.81, Feb 1991.
- [37] BENDER, J. G. An overview of systems studies of automated highway systems **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, v. 40 n. 1, p.82 -99, Feb 1991.
- [38] ASSOUS, Y. J.; SAKSENA, V. R. Economic analysis of robust access network architectures in two-tier data networks **IEEE Network**, v. 3, n. 3, p.13-21, May 1989.
- [39] LEWIS P. A. W.; COX D. R. **The statistical analysis of series of events**. London, Chapman and Hall, 1966.
- [40] Hoel G. P. **Elementary statistics**. New York, John Willey,. 1961.
- [41] Buffa, E. S. **Administração da produção** Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1972 2v. (Coleção Universitária de Administração; 1977).
- [42] MONKS, J. G. **Administração da produção** São Paulo, McGraw-Hill, 1987.
- [43] HAX C. A.; CANDEA D. **Production and inventory managemen**. Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1984.
- [44] SYSTEMS MODELING CORPORATION. **ARENA** Sewickley, 1994. 7v.

# ***Apêndice***

---

## **DESCRITIVO DO SOFTWARE DE SIMULAÇÃO ARENA**

---

### **1. Introdução**

Este apêndice descreve resumidamente o simulador ARENA.

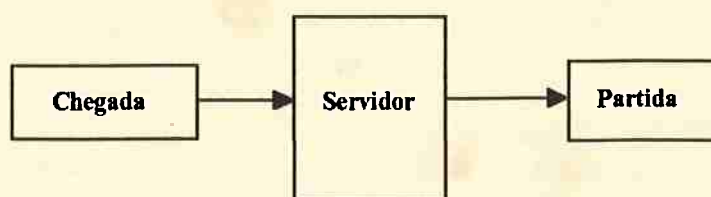
### **2. Descritivo**

O sistema Arena providencia um ambiente integrado gráfico de alto nível para modelar, simular e prever o desempenho de sistemas utilizando a linguagem Simam. O Simam e o Arena foram desenvolvidos por Systems Modeling Corporation, para simular processos e eventos discretos. A simulação no Simam consiste de arquivos de modelo e de experimento.

Dentro da sintaxe Simam, o sistema é modelado por asserções contendo nomes e operadores que especificam e definem o funcionamento do sistema.

O Arena gera automaticamente e de forma transparente para o usuário os operadores e parâmetros para que o Simam possa simular o sistema proposto.

O Arena providencia uma coleção de módulos como: bloco de chegada, servidor, inspeção etc, podendo a célula básica ser resumida em:



**Figura apêndice 1 - Demonstrativo de modelamento no Arena**

Os principais parâmetros para o modelamento são:

**Entidades:** representam os objetos a serem processados ou ordens de serviço. Neste trabalho as entidades representam os veículos a serem pesados.

**Atributos:** são valores atribuídos a entidades como: tempo de chegada, tempo no sistema.

**Variáveis:** representam o sistema como um todo e não uma entidade em si.

No Sistema Integrado de Pesagem (SIPPA) as variáveis são: número de veículos atendidos, percentagem de chegada, número de veículos numa determinada fila etc.

Estações: são as diversas áreas de processamento. Os servidores fazem parte das estações. Neste trabalho os Postos de Cadastramento e Controle, Postos de Pesagem Operativos são os servidores.

Filas: representam a área de espera para as entidades, que no caso em questão são os veículos. Neste trabalho, entre outros tópicos, os principais alvos de análise são o número médio e o número máximo de veículos em cada uma das filas distribuídas ao longo do sistema.

Ponto de chegada: é por onde as entidades chegam no sistema. O ARENA registra o instante de chegada da entidade no sistema representando dessa forma o instante de chegada de um veículo para ser pesado.

Ponto de Partida: é por onde as entidades saem do sistema. Por exemplo, o atributo "Tempo no Sistema", no caso simulado, indica o intervalo de tempo de cada veículo entre o instante de chegada no sistema até o instante da sua saída.

Rotas: executam o movimento das entidades de uma estação a outra, ou seja, representam o percurso e o tempo gasto para uma entidade, no caso um veículo, trafegar de uma estação de trabalho para outra.

Os tempos de atendimento de cada servidor, o número de servidores em paralelo, os tempos de traslado entre as estações e a taxa de chegada podem ser determinados em valores exatos, ou em funções probabilísticas.

No Arena, quando se define uma taxa de chegada tipo EXPO(0,5), quer dizer que chega no sistema um veículo(entidade) a cada 0,5 unidades de tempo, segundo uma função probabilística exponencial como mostrada na figura seguinte.

As demais funções utilizadas para representar na simulação do SIPPA os tempos de traslado e de atendimento foram: a função probabilística triangular TRIA(x,y,z), e a função probabilística uniforme UNIF(x,y), conforme mencionado no capítulo 4.