

Universidade Federal de Santa Catarina  
Programa de Pós-graduação em  
Engenharia de Produção



SIMULAÇÃO DINÂMICA DE MODELOS  
OPERACIONAIS COM ENFOQUE APLICADO À  
ENGENHARIA DE PROJETOS

Dissertação de Mestrado

João Batista Filho

Florianópolis  
2001

Universidade Federal de Santa Catarina

Programa de Pós-graduação em

Engenharia de Produção

SIMULAÇÃO DINÂMICA DE MODELOS  
OPERACIONAIS COM ENFOQUE APLICADO À  
ENGENHARIA DE PROJETOS

João Batista Filho

Dissertação apresentada ao  
Programa de Pós-graduação em  
Engenharia de Produção da  
Universidade Federal de Santa Catarina  
como requisito parcial para obtenção  
do título de Mestre em  
Engenharia de Produção

Florianópolis, setembro de 2001

João Batista Filho

# SIMULAÇÃO DINÂMICA DE MODELOS OPERACIONAIS COM ENFOQUE APLICADO À ENGENHARIA DE PROJETOS

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Engenharia, especialidade Engenharia de Produção, e aprovada na sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina.

---

Prof. Ricardo Miranda Barcia, Ph. D.  
**Coordenador do Programa**

BANCA EXAMINADORA:

---

Profª. Aline França de Abreu, Ph. D.  
**Orientadora**

---

Prof. Pedro Felipe de Abreu, Ph. D.  
**Co – orientador**

---

Prof. Osmar Possamai, Dr.

---

Eng. Carlos M. Cardozo, Dr.

A todos que acreditam e se orgulham do que faço.  
Aos meus filhos, nos quais acredito e me orgulho.

## Agradecimentos

À Universidade Federal de Santa Catarina.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná

À Professora Aline França de Abreu e Professor Pedro, pela  
orientação e estímulo.

Ao Engenheiro Carlos Manuel Cardozo e Professor Possamai, pelas  
valiosas observações.

Aos colegas da Itaipu Binacional, em particular aos da Superintendência  
de Engenharia, que direta ou indiretamente colaboraram com este  
trabalho.

À Itaipu Binacional que através do seu corpo funcional, viabilizou todo apoio  
para que eu atendesse aos requisitos necessários à obtenção do grau de  
Mestre.

## Sumário

<b>Lista de figuras .....</b>	<b>vii</b>
<b>Lista de reduções .....</b>	<b>ix</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>x</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>xi</b>
<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivo Geral .....	2
1.2 Objetivos Específicos.....	3
1.3 Procedimento Metodológico.....	3
1.4 Delimitação .....	4
1.5 Estrutura do Trabalho .....	5
<b>CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA, HISTÓRICO E CONCEITOS.....</b>	<b>8</b>
2.1 Breve Revisão Bibliográfica em Dinâmica de Sistemas .....	9
2.2 Dinâmica de Sistemas – Um breve histórico.....	13
2.3 Conceitos .....	17
2.3.1 Dinâmica de Sistemas na solução de problemas .....	18
2.3.2 Sistemas .....	22
2.3.3 Teorias de sistemas.....	27
2.3.4 Modelos 31	
2.4 Considerações Finais .....	36
<b>CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA PARA OBTENÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO .....</b>	<b>37</b>
3.1 Elementos de Modelagem em Dinâmica de Sistemas .....	37
3.1.1 Acumulações e fluxos .....	38
3.1.2 Diagramas de fluxo .....	39
3.1.3 Diagramas de laço causal.....	40
3.1.4 Ordem do sistema .....	43
3.1.5 Sistemas dinâmicos lineares abertos e fechados.....	44
3.1.6 Sistemas com laço de realimentação positivo .....	45
3.1.7 Sistemas de laço de realimentação negativo.....	47

3.1.8	Considerações sobre o passo e horizonte de simulação .....	48
3.2	Metodologia de Solução: uma abordagem baseada em técnicas de Dinâmica de Sistemas .....	49
3.3	Considerações Finais .....	52
<b>CAPÍTULO 4 - MODELO DE SIMULAÇÃO PARA A DIVISÃO DE ENGENHARIA ELETROMECCÂNICA (ENEE.DT) .....</b>		<b>54</b>
4.1	Descrição do Problema .....	54
4.2	Simulação Dinâmica da Divisão de Engenharia Eletromecânica .....	55
4.2.1	1º Passo - Aquisição de conhecimentos .....	56
4.2.2	2º Passo – Especificação do comportamento dinâmico.....	63
4.2.3	3º passo – Construção do diagrama de laços causais .....	64
4.2.4	4º Passo – Construção do diagrama de estoque e fluxo .....	67
4.2.5	5º Passo – Estimativa de valores dos parâmetros .....	72
4.2.6	6º Passo – Verificação da consistência .....	74
4.2.7	7º Passo – Análise de sensibilidade .....	76
4.2.8	8º Passo –Teste de políticas.....	78
4.3	Considerações Finais .....	83
<b>CAPÍTULO 5 - SIMULAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO PARA A DIVISÃO DE ENGENHARIA ELETROMECCÂNICA (ENEE.DT) .....</b>		<b>84</b>
5.1	Simulações Computacionais.....	85
5.1.1	Aplicação do Modelo.....	85
5.1.2	Validação do Modelo .....	90
5.2	Considerações finais.....	92
<b>CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>		<b>93</b>
6.1	Conclusões .....	93
6.2	Recomendações .....	95
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>96</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>101</b>

## Lista de figuras

Figura 3.1- Diagrama de fluxos .....	39
Figura 3.2 – Diagrama de laço causal.....	41
Figura 3.3 – Relação causal.....	42
Figura 3.4 – Corrente causal.....	43
Figura 3.5 - Diagrama de fluxo simplificado - Crescimento da População.....	45
Figura 3.6 – Taxa de nascimentos x população.....	46
Figura 3.7 - Diagrama de fluxo simplificado - Declínio da População.....	47
Figura 3.8 - Taxa de pedido x estoque.....	48
Figura 4.1 – Passos para construção de modelos .....	56
Figura 4.2 – Relação de variáveis e parâmetros.....	62
Figura 4.3 - Modo de referência da engenharia de projetos .....	64
Figura 4.4 - Diagrama de laço causal da engenharia de projetos.....	67
Figura 4.5 – Diagrama Principal do modelo da engenharia de projetos .....	68
Figura 4.6 – Modelo para a determinação do número de projetos.....	71
Figura 4.7 – Modelo para determinação do número de especialistas.....	72
Figura 4.8 – Parâmetros de simulação.....	73
Figura 4.9 - Modo de referência com variação no número de solicitações. ....	75
Figura 4.10 - Gráfico da “ <i>Produção normal</i> ” variando-se as “ <i>Solicitações</i> ”.....	77
Figura 4.11 - Gráfico da “ <i>Produção desejada</i> ” variando-se as “ <i>Solicitações</i> ”..	78
Figura 4. 12 – Modelo com aplicação da estratégia política .....	80
Figura 4.13 – Gráfico Tabela.....	81
Figura 4.14 – Gráfico da “ <i>Produção desejada</i> ” com horário móvel.....	81



Figura 4.15 – Gráfico da “Produção” simulado com horário móvel .....	82
Figura 5.1 – Verificação do Modo de Referência .....	86
Figura 5.2 – Gráfico da “Especialistas” sem aplicação da estratégia política ..	87
Figura 5.3 – Gráfico “Especialistas” com aplicação da estratégia política .....	88
Figura 5.4 – Gráfico da “Produção” com aplicação da estratégia política.....	89
Figura 5.5 – Gráfico da “Produção” sem aplicação da estratégia política.....	89
Figura A.1 – Diagrama e equações com o Dynamo .....	102
Figura A.2 – Tela inicial do Stella.....	103
Figura A.3 – Tela inicial do Powersim .....	105
Figura A.4 – Tela inicial do Vensim.....	106
Figura A.5 – Construção do modelo da engenharia de projetos .....	111
Figura A.6 – Tela de equações .....	112

## Lista de reduções

### Siglas

ENE.DT Departamento de Engenharia Eletrônica e Eletromecânica

ENEE.DT Divisão de Engenharia Eletromecânica

UHI Usina Hidrelétrica de Itaipu

## Resumo

BATISTA Filho, João. **Simulação dinâmica de modelos operacionais com enfoque aplicado à engenharia de projetos**. 2001. 134f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.

Este trabalho apresenta a técnica “Dinâmica de Sistemas” como uma ferramenta de apoio às tomadas de decisões, demonstrando a sua aplicação prática na área de engenharia de projetos de uma Usina Hidrelétrica. A área analisada, enfrenta problemas de gerenciamento das suas atividades, quando surgem situações atípicas que causam desequilíbrios entre a demanda de solicitações dos seus serviços com relação a sua capacidade de produção. A proposta deste trabalho é minimizar estes desequilíbrios através de decisões tomadas com base em simulações, que comparam as possíveis situações antes que elas ocorram. A análise da dinâmica da área de engenharia de projetos requer a manipulação de muitas variáveis e para tal, necessita de uma ferramenta que ajude a gerência na sua formulação como um todo. Com a técnica proposta, gerentes, tomadores de decisões ou gestores de uma maneira geral, poderão analisar as principais variáveis de um processo, bem como contar com uma forma de síntese, baseada em simulações de sensibilidade e de estratégias políticas. Inicialmente, o trabalho apresenta um breve histórico da técnica, seguido de informações conceituais de sistemas, e modelos de simulação. Abordando, por um lado, problemas de maneira sistematizada e, por outro, procurando enriquecer a compreensão através de determinadas situações. Em complemento às informações conceituais, o trabalho apresenta a técnica “Dinâmica de Sistemas” com os tópicos teóricos, utilizados na construção do modelo de simulação estudado. O trabalho prossegue seqüencialmente com a descrição dos principais parâmetros que influenciam na elaboração de modelos de sistemas e como contribuição prática, apresenta a elaboração de um modelo operacional, utilizando-se a técnica “Dinâmica de Sistemas”, adequado às necessidades da área de engenharia de projetos da Usina Hidrelétrica de Itaipu. Em seguida, apresenta uma aplicação prática numa situação atípica enfrentada pela área de projetos, utilizando-se desta para reforçar as observações sobre a validação do modelo construído. Ao final, o trabalho é concluído com as considerações sobre a técnica aplicada e com recomendações para a sua utilização nas mais diversas áreas, onde se presencia o comportamento dinâmico.

**Palavras - chave:** Dinâmica de Sistemas, modelo e simulação

## Abstract

BATISTA Filho, João. **Dynamic simulation of operational models focussing on their application to project engineering**. 2001. 134f. Thesis (Master in Production Engineering) – Postgraduate Programme in Production Engineering, UFSC, Florianópolis.

This work presents the “Systems Dynamics” technique as a tool for supporting the taking of decisions, by demonstrating its practical application to the project engineering area of a Hydroelectric Power Plant. The area being analysed faces problems in managing its activities when untypical situations arise causing imbalance between the demands upon its services in relation to its production capacity. The present work proposes to minimise these imbalances by means of decisions based on simulations that compare the possible situations before they occur. The analysis of the dynamics in the area of project engineering requires manipulating many variables and, to this effect, demands a tool to assist management in their overall formulation. With the proposed tool, managers, decision makers or executive officers in general, could analyse the principal variables of a process, or make use of a form of synthesis based on sensitive simulations of strategic policies. The work commences by presenting a brief history of the technique, followed by conceptual information on the systems, and simulation models. This involves, on the one hand, approaching problems in a systematic manner and, on the other, attempting to enrich comprehension through study of particular situations. As a complement to the conceptual information, the work presents the “Systems Dynamics” technique with the theoretical themes utilised in constructing the simulation model under study. The work continues, sequentially, with the description of the principal parameters that influence the preparation of models of systems and, as a practical contribution, presents the development of an operational model, employing the “Systems Dynamics” technique, and suited to the needs of the project engineering area of the Itaipu Hydroelectric Power Plant. Immediately following, it presents a practical application in an atypical situation faced by the project area, and in utilising this situation to reinforce the considerations concerning the validity of the model constructed. At the end, the work concludes with considerations concerning the technique applied, and recommending its adoption in the diverse areas where dynamic behaviour is observed.

**Keywords:** Systems Dynamics, model and simulation.

## **CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO**

O trabalho: “Simulação Dinâmica de Modelos Operacionais, com Enfoque Aplicado à Engenharia de Projetos”, surgiu da seguinte assertiva: “para melhorar a qualidade de vida de um ambiente, melhore a qualidade das decisões tomadas para este ambiente”.

Para se tomar decisões é necessário em primeiro lugar uma análise dos problemas pertinentes. O problema em questão, aparece quando as quantidades de solicitações de projetos de engenharia, ficam acima da capacidade de produção da sua equipe própria. Como se não bastasse, algumas vezes estas solicitações são em caráter de urgência e têm que ser atendidas antes daquelas programadas. Tal situação, resulta num processo de acumulação de novas atividades com as programadas, provocam atrasos no desenvolvimento dos serviços e criam uma situação indesejável, difícil de ser gerenciada.

Não obstante, alguns projetos serem concluídos além do tempo previsto, podem também apresentar uma qualidade aquém do desejado. Sendo portanto necessárias algumas revisões, que de uma forma ou de outra se sobrepõem a outros projetos na mesma situação aumentando ainda, mais as pendências de projetos.

Estas situações, quando ocorrem, geram nos funcionários, um estado de sobrecarga física e mental, desagradável, com repercussões negativas em todo o ambiente e deterioração dos serviços prestados.

A solução então para o problema, está em uma programação ótima, com um planejamento adequado da equipe, própria e/ou terceirizada, para atender a demanda de serviços solicitados.

Nesse sentido, pesquisou-se uma ferramenta capaz de analisar situações em sistemas complexos para apoiar as tomadas de decisões. A ferramenta encontrada é a técnica denominada “Dinâmica de Sistemas” que aplicada com o apoio computacional, capacita aos gestores, a analisar com mais detalhes as conseqüências de suas decisões. Esta técnica não só capacita aos gestores com um modelo para simulação, mas também capacita-os com o conhecimento acurado do sistema em análise, devido ao seu envolvimento na construção e/ou adaptação do modelo.

Com este trabalho, ao se desenvolver um modelo de simulação na área de projetos de engenharia, através da técnica “Dinâmica de Sistemas” espera-se, que de fato, o modelo criado venha a contribuir com as decisões gerenciais do setor. Conseqüentemente, espera-se que proporcione aos gestores, os melhores meios para se alcançar suavemente os pontos de equilíbrio do sistema real e que com o sistema equilibrado, surjam as melhorias, tanto da qualidade dos serviços prestados, quanto da qualidade de vida dos envolvidos.

## **1.1 Objetivo Geral**

Este trabalho tem como objetivo geral, instrumentar gestores da área de projetos de engenharia, com uma ferramenta de simulação do sistema real,

que proporcione uma visão prévia do comportamento desse sistema e possibilite adequar a demanda de projetos, com a disponibilização de especialistas necessários a sua execução.

## **1.2 Objetivos Específicos**

Para atender aos seus objetivos, este trabalho apresenta a criação de um “modelo de simulação dinâmica”, adequado ao setor de projetos de engenharia de Usinas Hidrelétricas, com o estabelecimento dos seguintes objetivos específicos:

- estabelecer parâmetros de relações causa e efeito entre os principais elementos necessários à produção de projetos de engenharia;
- estabelecer valores aos parâmetros, considerados manuseáveis, dirigidos à produção de projetos;
- estabelecer critérios (informações) para priorizar ações gerenciais de projetos;
- propor um modelo de simulação.

## **1.3 Procedimento Metodológico**

O procedimento metodológico deste trabalho, adota uma descrição dos conceitos básicos necessários à utilização da técnica “Dinâmica de Sistemas” possibilitando sua aplicação no planejamento e programação de projetos em

usinas hidrelétricas. Parte-se de um levantamento de informações diretamente do local analisado, desenvolvendo, segundo a técnica, diagramas e modelos da estrutura da área, utilizando em todo processo de modelagem, as ferramentas computacionais aplicáveis para agilizar a simulação dinâmica.

#### **1.4 Delimitação**

A limitação do trabalho é a aplicação da técnica “Dinâmica de Sistemas” somente para a Divisão de Engenharia Eletromecânica (ENEE.DT), uma área de engenharia de projetos da Usina Hidrelétrica de Itaipu (UHI). Assim como, os resultados obtidos usando esta técnica, não são confrontados com os resultados de outras técnicas, tais como: “Simulação Discreta” usando teoria das filas; “Simulações Contínuas” usando técnicas das restrições; entre outras.

Enfatiza-se a utilização da técnica “Dinâmica de Sistemas” em uma situação real pelos seguintes pontos: por se poder modelar variáveis sociais que têm importância no ambiente do trabalho; pela habilidade de tratar problemas tanto de longo prazo quanto de curto prazo; pela simplicidade com que relações complexas e não lineares podem ser modeladas; pela facilidade com que os efeitos das alternativas políticas podem ser testados; pela facilidade na forma de apresentação dos resultados; e pela necessidade de se usar as decisões como ações contínuas e não discretas, devido as ações resultantes dessas decisões, permanecerem por longo tempo restringindo assim, o uso de modelos discretos.

Também, para se tomar decisões em ambientes de projetos, onde



existem uma dependência tanto de variáveis objetivas quanto de variáveis subjetivas, é necessário uma abordagem mista, que possa ser usada tanto qualitativamente quanto quantitativamente. Desta forma, limita-se o trabalho, corroborado por Cardozo (2000); Pidd (1998); Mohapatra et al. (1994) na utilização da técnica “Dinâmica de Sistemas”.

## **1.5 Estrutura do Trabalho**

O tema fundamental deste trabalho é a técnica “Dinâmica de Sistemas”, utilizada para desenvolver modelos que sirvam como uma ferramenta de apoio às tomadas de decisões. Para seu desenvolvimento, este trabalho está organizado em 6 (seis) capítulos:

Capítulo 1 - Introdução. Apresenta a motivação, os objetivos e a contextualização do trabalho;

Capítulo 2 - Revisão da Literatura, Histórico e Conceitos. Fornece maiores detalhes sobre a problemática do assunto; apresenta o processo de levantamento e análise do que foi consultado na elaboração da pesquisa; relata um histórico da técnica proposta; apresenta um quadro de conceitos básicos para a solução do problema, em estudo, através da técnica de “Dinâmica de Sistemas”; apresenta uma síntese sobre o conceito de sistemas, um resumo de conteúdos importantes sobre algumas teorias de sistemas e, ao final apresenta um relato de discussões sobre modelos e sua validação;

Capítulo 3 - Metodologia para obtenção do Modelo de Simulação.

Apresenta os principais elementos para a criação de modelos através da técnica “Dinâmica de Sistemas”; desenvolve a formulação proposta nos objetivos; apresenta os oito passos necessários para a elaboração de um modelo segundo a técnica “Dinâmica de Sistemas”; detalha os procedimentos de cada passo;

Capítulo 4 - Modelo de Simulação para a Divisão de Engenharia Eletromecânica (ENEE.DT). Apresenta a descrição e análise dos problemas da área de engenharia de projetos; detalha os procedimentos dos 8 passos para construção do modelo partindo da familiarização das relações que regem o sistema, segundo o qual a área estudada faz parte. Uma vez compreendido o mecanismo que gera o comportamento do sistema, formula as propostas de regras de integração necessárias a construção do modelo;

Capítulo 5 - Simulação e Validação do Modelo para a Divisão de Engenharia Eletromecânica (ENEE.DT). Utiliza o modelo criado, para simular a área de engenharia de projetos da Usina Hidrelétrica de Itaipu (empresa de grande importância no mercado energético brasileiro e paraguaio)., apresenta a aplicação prática do modelo desenvolvido, descrevendo suas simulações e testes para validação;

Capítulo 6 - Conclusões e Recomendações. Conclui o trabalho após a aplicação da metodologia e validação do modelo, incluindo recomendações para sua utilização nas demais áreas da empresa, apresentando também algumas sugestões para trabalhos futuros sobre a técnica de “Dinâmica de

Sistemas”.

Ao final apresenta-se as “Referências Bibliográficas” e os Anexos onde nestes descreve-se o seguinte: as vantagens e desvantagens dos principais aplicativos (software) disponíveis no mercado; os passos para construção do modelo conforme o “software” utilizado no trabalho; e, uma relação com as equações das variáveis utilizadas no modelo construído sob a técnica “Dinâmica de Sistemas”.

## **CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA, HISTÓRICO E CONCEITOS**

O trabalho sobre: “Simulação Dinâmica de Modelos Operacionais, com Enfoque Aplicado à Engenharia de Projetos”, tem como problema central o gerenciamento de uma situação complexa típica de um ambiente de projetos - a adequação da mão de obra disponível à demanda de serviços. Esta situação é difícil de ser gerenciada devido proporcionar acúmulo de serviços, ocasionado, principalmente, pelas dificuldades de previsão dos picos de demanda de solicitações de projetos em situações atípicas e também pela insatisfação dos funcionários pela incerteza gerada no ambiente de trabalho.

Como exemplo de situação atípica, na área de engenharia de projetos, pode-se citar o caso da mudança das ferramentas de execução, haja vista que há poucos anos, todos os desenhos eram executados pela maneira tradicional, isto é, a lápis ou a nanquim sobre papel vegetal. A transição para os desenhos em “meio digital”, termo utilizado pela área para os desenhos executados no computador, trouxe para toda a equipe uma dificuldade de adaptação a esta nova tecnologia. Ocasionalmente um acúmulo considerável no número de solicitações de projetos não atendidas. Aliada à reação contrária, comum em todas as mudanças, a produção caiu, no que intensificou o acúmulo de tarefas pendentes.

Como a aplicação será realizada para a Divisão de Engenharia Eletromecânica (ENEE.DT) da Usina Hidrelétrica de Itaipu (UHI) é interessante observar outro fator, embora considerado de pouca influência na produção da

equipe, que é a origem da equipe de engenharia de projetos. A equipe formada na área de engenharia de projetos é composta de brasileiros e paraguaios que, além de apresentarem tradições diferentes, são originários de áreas de trabalho distintas (alguns vieram da área de manutenção, outros da área de obras), e uniram-se aos funcionários já pertencentes à área de projetos. Se por um lado isto gera algum benefício, pois surge da equipe diferentes ângulos de visão sobre os projetos, por outro surgem dificuldades, tais como: no estabelecimento dos parâmetros iniciais de um projeto; na quantificação; na apresentação; nos detalhamentos, etc.. Este fator é sempre considerado pela gerencia da área quando da delegação das tarefas, no sentido de manter a produtividade da equipe constante, e que pode ser considerado na simulação a ser realizada.

Assim, para atender as necessidades gerenciais da área de engenharia de projetos, é proposto neste trabalho a adoção de modelos de simulação dinâmica, que baseados em parâmetros preestabelecidos, podem ser utilizados como ferramenta de apoio à tomada de decisões. Para se entender os conceitos por trás da simulação dinâmica é necessário uma revisão bibliográfica que será realizada a seguir.

## **2.1 Breve Revisão Bibliográfica em Dinâmica de Sistemas**

Para a criação de modelos em ambientes empresariais, Pidd (1998) considera dois tipos de modelagem, a modelagem interpretativa e a modelagem matemática e lógica. A modelagem interpretativa desenvolve

modelos qualitativos enquanto que a outra desenvolve modelos quantitativos. Para se tomar decisões no ambiente de projetos, é necessário uma abordagem mista, considerada como delimitação do trabalho. Desta forma optou-se pela técnica “Dinâmicas de Sistemas”, como técnica para a simulação pois permite estes tipos de modelagem.

Uma introdução à técnica “Dinâmica de Sistemas” pode ser vista em , Mohapatra et al. (1994) que apresentam conceitos e informações necessárias à sua compreensão. Também, o mentor da técnica, Forrester juntamente com sua equipe, numa série chamada “Road Maps”, apresentam um guia para auto-estudo organizado em nove capítulos, contendo uma seleção de literaturas, para o aprendizado sobre os princípios e práticas em “Dinâmica de Sistemas” (SDEP, Internet, 2000).

Dentre as literaturas contidas na série “Road Maps” destaca-se neste trabalho os seguintes artigos (SDEP, Internet, 2000):

- como introdução, Albin (1997) ressalta que o processo de elaboração de um modelo começa pela fase de conceitualização, Meadows (1991) narra suas experiências e seus esforços para utilizar corretamente os conceitos sistêmicos na sociedade atual, Forrester (1971 atualizado em 1995) apresenta uma introdução aos conceitos de Dinâmica de Sistemas, discutindo políticas sociais e as repercussões do entendimento incompleto dos sistemas complexos;
- para estruturas de sistemas, Albin & Choudhari (1996) apresentam

uma introdução à estrutura genérica dos sistemas de realimentação positiva; Albin (1996) em outro artigo, apresenta uma introdução à estrutura genérica dos sistemas de realimentação negativa, Chung (1994) mostra dois cenários da vida real que ilustram as mudanças de uma estrutura oscilante, enquanto que Breirova (1997) , usando vários exemplos da vida real, apresenta a introdução às estruturas genéricas que produzem desdobramento e colapso; complementando, Duhon & Glick (1994) mostram as estruturas genéricas que produzem um crescimento logístico;

- para a análise de sistemas complexos, tal qual um ambiente de projetos de engenharia: Martin (1997bcd), desenvolve o conceito de estruturas básicas (Nível – Fluxo) mediante exemplos tomados de uma variedade de sistemas, ensina como traçar ligações causais e como diferenciar laços de realimentação positiva de laços de realimentação negativa;
- para a criação de modelos: Oh (1995), apresenta uma discussão dos possíveis comportamentos que podem surgir nos laços de realimentação positiva de primeira ordem; Agatstein & Breirova (1996ab), mostram a integração gráfica de fluxos linearmente crescentes / decrescentes e de fluxos combinados de entrada e saída; Stanley (1996) explica os métodos do processo inverso de integração gráfica e a determinação do gráfico de fluxo a partir do gráfico de nível;

- para análises de sensibilidade, Breierova & Choudhari (1996) apresentam a introdução aos conceitos e métodos de análises de sensibilidade de modelos construídos através da técnica “Dinâmica de Sistemas”, enquanto que Shereckengost (1985) apresenta as noções gerais de vários testes que podem ser aplicados para a verificação da validade dos modelos;
- sobre os problemas e erros freqüentes em modelos, Shayne Gary (1992) examina um modelo que contém erros de inconsistência dimensional e sugere melhorias para o modelo. Também Breierova (1996) faz o exame e a correção de um modelo, forçado a reproduzir uma estrutura genérica, no qual os níveis não refletem acumulações reais do sistema e Martin (1997a) explica como evitar erros e más interpretações, bem como a formular tabelas de funções com relações não lineares definidas por gráficos, robustas e dimensionalmente consistentes;
- por fim na serie “Road Maps” encontram-se alguns artigos de opiniões, como o de Sterman (1988) que mostra uma visão geral das diferentes técnicas de desenvolvimento de modelos de simulação, com suas características, capacidades e limitações. As notas de uma conferência de Forrester (1994) sobre os propósitos e objetivos que deveriam ser alcançados mediante uma educação primária baseada na “Dinâmica de Sistemas” e uma outra opinião, também de Forrester (1992) sobre as diferenças entre a “Dinâmica de



Sistemas”, o pensamento sistêmico e a investigação operativa.

Na seqüência da pesquisa, Ford (1999) apresenta umas aplicações práticas da “Dinâmica de Sistemas” em diversas áreas, especialmente as ligadas ao meio ambiente. Neste livro, em linguagem bem didática, o autor oferece todos os passos para o aprendizado na construção de modelos.

Finalmente Cardozo (2000) apresenta na sua tese de doutorado os principais conceitos para formulação de modelos de planejamento de gestão de uma empresa geradora de energia elétrica, utilizando técnicas de “Dinâmica de Sistemas”, dando subsídios para a aplicação da técnica “Dinâmica de Sistemas” na área projetos de uma usina hidrelétrica.

## **2.2 Dinâmica de Sistemas – Um breve histórico**

A técnica de “Dinâmica de Sistemas” foi criada durante os anos 50 pelo Professor Jay W. Forrester do “Massachusetts Institute of Technology”, inicialmente desenvolvida para ajudar gerentes a melhorarem seus entendimentos a respeito de processos industriais. Com o tempo, tornou-se uma valiosa ferramenta de apoio às decisões, principalmente pelo acesso facilitado devido ao desenvolvimento das técnicas computacionais, permitindo a simulação, análise e discussão de problemas complexos (CARDOZO, 2000).

Durante os anos 50, em conjunto com seus colegas da “Sloan School of Management, MIT”, Forrester desenvolveu as idéias iniciais, pela aplicação de conceitos vindos da teoria de controle de “feedback” no estudo de sistemas

industriais. Chamaram inicialmente esta nova metodologia de “Dinâmica Industrial”, e estas idéias propagaram-se a partir do lançamento do livro “Industrial Dynamics” em 1961 (FORRESTER, 1989).

Ao final da primeira década da publicação do livro “Industrial Dynamics”, um interessante debate foi realizado. Neste debate foi discutido a validade da idéia de que a “Dinâmica Industrial” pudesse se transformar em uma teoria geral de análise de sistemas (CARDOZO, 2000).

Voltando no tempo, a 1958, Richard Bennet, atendendo a uma solicitação de Forrester, fez um compilador para criar os códigos das equações em computadores, denominando-o de SIMPLE. Este compilador acelerou e facilitou o processo de modelagem de sistemas dinâmicos. Em 1959 Phyllis Fox e Alexander Pugh estenderam os compiladores de sistemas dinâmicos nas séries do software Dínamo (FORRESTER, 1989).

Em 1967, Forrester, em um clássico publicado na “Industrial Management Review”, discute o porquê da importância em identificar as necessidades, ser fato primordial para as novas empresas e coloca suas idéias como uma ferramenta generalizada de “Dinâmica de Sistemas”, propondo-a como uma teoria geral de estruturas e comportamentos de sistemas (CARDOZO, 2000).

Uma segunda publicação importante, “Principles of Systems”, foi escrita por Forrester em 1968 com uma linguagem simples e didática. Sua contribuição foi esclarecer os princípios da “Dinâmica de Sistemas” e mostrar

que esses princípios são de natureza muito geral. Demonstrou também o potencial do “sujeito”, e a universalidade da aplicação do princípio. Nesta ocasião, Forrester substituiu o termo “Dinâmica Industrial” por “Dinâmica de Sistemas”. Também no ano de 1968, Forrester aproveitou-se da oportunidade de trabalhar junto com John F. Collins , um professor de assuntos urbanos, que havia sido prefeito da cidade de Boston, para ter acesso à pessoas experientes e a suas opiniões sobre os problemas das cidades (FORRESTER, 1989).

Em 1969, Forrester baseado nas informações obtidas através de Collins, publicou o livro “Urban Dynamics”. Nesta época os problemas com a decadência urbana estavam aflitivamente evidentes na maioria das grandes cidades da América. Forrester, argumentou que a decadência poderia ser controlada com a demolição de residências na área urbana. Isso foi uma surpresa, visto que muitos planejadores de cidades estavam recomendando investimentos nas construções de residências nessas áreas. As recomendações de Forrester vinham contra a maioria dos planejadores, e surgiram críticas às suas recomendações como baseadas em um modelo imperfeito. Forrester demonstrou e convenceu platéias bastante hostis, ele replicou que todos os modelos são imperfeitos porque eles são , por definição, representações simplificadas de um sistema e que o nosso caminho normal de pensar a respeito de sistemas complexos, é naturalmente limitado e enganado. Modelos são mais proveitosos quando eles mostram comportamentos contrários a nossa intuição, forçando os planejadores a reexaminarem seus

entendimentos “intuitivos” sobre o sistema (FORRESTER, 1971 atualizado em 1995).

A segunda década de experiência, marcou alguns diálogos e debates interessantes entre cientistas sociais e físicos sobre a utilidade desta teoria para pesquisas sistêmicas. Forrester em 1971 publicou o uso da Dinâmica de Sistemas aplicada a sistemas sociais complexos, no livro “World Dynamics”. Esse trabalho tal como “Urban Dynamics” teve rápida reação. Até então, nenhum outro modelo de “Dinâmica de Sistemas” foi tão minuciosamente discutido por tantas pessoas. O livro “World Dynamics” contém modelos de simulação, que mostram como aumentos exponenciais na população e no consumo de recursos naturais, conduzem à crises de poluição e fome, a menos que se tome algumas medidas, principalmente nas políticas econômicas (CARDOZO, 2000).

As principais críticas da época à “Dinâmica de Sistemas” foram as seguintes (MOHAPATRA et al. 1994; CARDOZO, 2000):

- os modelos foram construídos utilizando poucos dados;
- os modelos foram altamente agregados;
- a validade quantitativa estava ausente;
- os métodos para julgamentos de parâmetros sensíveis do modelo não foram totalmente provados;

- a prática de tentativa e erro durante elaboração de políticas nem sempre dá a melhor resposta.

Forrester trabalhou nessas críticas com Meadows e sua equipe preparando um relatório técnico sobre um modelo mundial. O resumo deste trabalho foi apresentado no livro "The limits to growth" por Meadows et al. (1972). Este livro, produziu sensíveis efeitos nos cientistas sociais, políticos, administradores e planejadores de políticas. Porém as mídias o interpretaram mal, e o intitularam como uma profecia da destruição (MEADOWS, 1991).

Entretanto com os anos, a "Dinâmica de Sistemas" vem evoluindo como uma metodologia de análise de sistemas sociais a nível agregado tendo sua utilidade aplicada em vários ramos de atividades tais como: administração, meio ambiente, recursos naturais, engenharia, finanças, entre outros.

## **2.3 Conceitos**

O conceito central para a "Dinâmica de Sistemas" está em entender como os objetos de um sistema interagem entre si. Tanto os objetos quanto as pessoas em um sistema interagem através de laços de realimentação, onde uma mudança em uma variável afeta outras variáveis com o passar do tempo, essas modificações por sua vez alteram a variável original, e assim consecutivamente (SDEP, Internet, 2000).

Um exemplo simples de laços de realimentação pode ser observado no ambiente de projeto. A gerência estima uma determinada quantidade de

Homem-hora (Hh) para um projeto e a propõe ao especialista que irá executá-lo. Este contesta sugerindo mais ou menos Hh. Então se discutiu os parâmetros utilizados pelas partes até chegarem a um equilíbrio de opiniões.

O que a “Dinâmica de Sistemas” tenta fazer é entender a estrutura básica de um sistema, e assim entender o comportamento que ele pode produzir. Muitos destes sistemas e problemas que são analisados, podem ser construídos como modelos a serem implementados em computador. A “Dinâmica de Sistemas” tira proveito do fato que um modelo computacional pode ser de grande complexidade e pode levar a cabo cálculos simultâneos que o modelo da mente humana seria incapaz de englobar.

“Dinâmica de Sistemas” é uma técnica, na qual sistemas sociais, não lineares, dinâmicos e complexos, podem ser entendidos e analisados, através de interações. Além disso, novas políticas e estruturas podem ser desenhadas para melhorar o comportamento do sistema (MOHAPATRA et al., 1994)

### 2.3.1 Dinâmica de Sistemas na solução de problemas

A “Dinâmica de Sistemas” é uma técnica para a solução de problemas, pois com a criação de modelos utilizando-se laços de realimentação, tem-se uma via importante para focar e tomar decisões concernentes a problemas do tipo social, econômico, ambiental, empresarial e político (MARTINEZ et al. 1986).

O homem ao longo da sua existência luta para solucionar problemas.

Essa busca incessante para entender o comportamento dos sistemas reais e então, obter o máximo benefício dele por via de manipulação do seu comportamento, levou-o a utilização de modelos para facilitar a sua análise (MOHAPATRA et al. 1994). Este trabalho baseia-se no citado ao criar um modelo simples, analisado de uma maneira cuidadosa para contemplar todos os elementos que intervêm na área de engenharia de projetos conforme sugere a técnica “Dinâmica de Sistemas”.

Para a maioria das pessoas, sobretudo para os engenheiros, os modelos são associado a computadores com uma grande quantidade de informações. Porém o primeiro modelo de simulação do mundo, bem documentado, foi publicado em 1971 por J. Forrester, o mentor da técnica. Desde então proliferou-se o número de modelos para o mundo. Estes modelos são criados em vários lugares e utilizam-se de distintas técnicas, com objetivos diversos. Porém, conforme Garcia (2001), a criação destes modelos é claramente limitada pela quantidade de informações disponíveis aos seus criadores. A maioria deles aborda problemas econômicos, populacionais ou de produção. Uma minoria aborda os problemas ambientais e a utilização dos recursos naturais. A maioria assume que a tecnologia manterá as necessidades de se produzir cada vez mais e mais com um custo cada vez menor. Enquanto que com a técnica “Dinâmica de Sistemas” deve-se focar uma outra apresentação da realidade, um enfoque tal qual neste trabalho, facilitado pelos conhecimentos da área de engenharia de projetos pelo modelador.

Possivelmente não exista hoje o que se poderia chamar de “forma correta” ou “a melhor maneira” de observar a realidade, devido a dificuldade de se sinalizar uma só direção como a melhor ou a mais correta. Porém, no desenvolvimento deste trabalho, verifica-se que a técnica “Dinâmica de Sistemas” apresenta uma maneira “útil” de se abordar os problemas que se mostram hoje, neste início de milênio. Época em que podem estar se acelerando as previsões “catastróficas” do livro de Meadows e que não estão sendo necessárias as decisões drásticas da natureza, pois “o homem” já está tomando às providências por ela.

Ao que parece, o mundo não avançou grande coisa com as formas tradicionais de focar os problemas. Pelo contrário, o que se vê é uma tendência acentuada em retroceder. Neste trabalho, ao se aplicar a técnica “Dinâmica de Sistemas”, partiu-se da definição do problema, em conformidade com Mohapatra et al. (1994), quando afirma que os modelos são problemas orientados e têm visão em longo prazo. No caso estudado a “Dinâmica de Sistemas” é usada, para explicar a ocorrência de um problema, para sugerir caminhos de como superá-los, permitir considerar implicações de políticas de longo prazo, e não o restringir, a considerar somente problemas de natureza de curto prazo.

Quanto a definição do modelo criado, o relacionamento causa – efeito desempenha um papel fundamental e constitui um dos primeiros passos na construção do modelo. Com a modelagem da estrutura causal em laços de realimentação e conseqüente interação desses laços tem-se a origem do



comportamento dinâmico do sistema. Alerta-se, novamente, que a base de dados mentais criada pela experiência e pelo julgamento de práticas aceitáveis do modelador, é de grande importância na construção das estruturas causais.

O modelo apresentado neste trabalho tem uma natureza genérica, embora o problema estudado seja tratado especificamente. O modelo enfatiza mais sobre a estrutura que sobre os parâmetros e o parâmetro mais sensível é tratado na análise de sensibilidade. Segundo Mohapatra (1994), os modelos em “Dinâmica de Sistemas” são insensíveis às mudanças na maioria dos parâmetros e assumem que as variáveis de decisões são contínuas, levando a ações contínuas. Embora, na vida real, muitas decisões são tomadas em tempos discretos, as ações resultantes dessas decisões, permanecem por longo tempo dificultando a escolha correta do intervalo entre sucessivos pontos discretos do tempo.

Ao final, para a validação do modelo da área de engenharia de projetos, aplica-se procedimentos de múltiplos estágios e após o entendimento do modelo aplica-se políticas intuitivas até se chegar na política sugerida como solução para o problema estudado.

A seguir, para aprimorar a compreensão da técnica “Dinâmica de Sistemas”, descreve-se alguns conceitos, de sistemas, teorias de sistemas e modelos. Importantes considerações, em razão dos estudos para a solução do problema da área de engenharia de projetos utilizando-se a técnica proposta.

### 2.3.2 Sistemas

Para atender a técnica de “Dinâmica de Sistemas”, é importante conhecer alguns conceitos de sistemas, pois estes enriquecem o estudo e trazem uma melhor compreensão do tema.

Segundo Martinez & Requena (1986), se define um sistema em consequência da determinação dos fins do estudo e das características do investigador sobre a realidade.

Para se estudar a realidade com fins práticos é necessário simplificá-la. Tal processo de simplificação se baseia, inicialmente em dois princípios: primeiro, determinar para que e com que objetivo, se quer conhecer e estudar; segundo, a simplificação será uma consequência de um conjunto de fatores subjetivos e objetivos do investigador, tal como sua formação, seus conhecimentos sobre o tema, sua ideologia, entre outros.

Partindo do descrito, para a simplificação da realidade da área de projetos de engenharia. Considera-se como problema, o acúmulo de solicitações de projeto na mente dos especialistas e, como objetivo, o equilíbrio entre a produção desejada e a produção normal da equipe. Isso baseado em observações realizadas pelo modelador e, sempre levando em consideração as necessidades de melhoria no ambiente estudado.

Este sistema simplificado da realidade estudada fica definido como um complexo de partes interrelacionadas, que por sua vez, poderão fazer parte de

outros subsistemas e assim por diante. “Similarmente, um sistema pode ser parte de um super sistema” (MOHAPATRA et al., 1994).

Para completar esta análise, Rezende & Abreu (2000) apresentam a seguir alguns conceitos de sistemas, os quais pode-se relacionar com a área de projetos de engenharia:

- sistema é o conjunto de partes que interagem entre si, integrando-se para atingir um objetivo ou resultado, (ex.: uma área de projetos);
- sistemas são partes interagentes e interdependentes que conjuntamente formam um todo unitário com determinados objetivos e efetuam determinadas funções, (ex.: os especialistas, os gestores, os equipamentos, etc., que formam um todo unitário, que é a área de projetos);
- sistema é uma empresa e seus vários subsistemas, (ex.: a área estudada vem a ser um subsistema da empresa).

Em suma , um sistema é um conjunto de “elementos” relacionados entre si, de forma tal que uma mudança em um elemento afeta ao conjunto todo.

Em “Dinâmica de Sistemas” também, como era de se esperar, só interessam os elementos relacionados direta ou indiretamente com o problema estudado.

Para se estudar um sistema tem-se que conhecer os elementos que o

formam e as relações que existem entre eles. Assim, será com freqüência mais fácil e efetivo para solucionar um problema, atuar sobre as relações entre os elementos , do que modificar a estrutura destes (GARCIA, 2001).

### 2.3.2.1 Sistemas – Características

Neste trabalho, o sistema estudado é composto por gestores, especialistas e suas ferramentas de trabalho, que desenvolvem projetos de engenharia, para atenderem, da melhor forma possível, as solicitações originadas das diversas áreas da empresa. As principais características desse sistema enquadram-se nas características relacionadas por Jenkis (1969) citado por Mohapatra et al. (1994) que são as seguintes:

- o sistema é um agrupamento complexo de humanos e de máquinas;
- o sistema pode estar formado de subsistemas, a quantidade de detalhes dos subsistemas depende do problema que está sendo estudado (os diagramas de fluxo, que serão detalhados neste trabalho, dão a descrição de um caminho para o entendimento desses subsistemas);
- as saídas de um dado subsistema, proporcionam, a entrada de outros subsistemas. Assim, um subsistema interage com outro subsistema e portanto, não podem ser estudados isoladamente;
- o sistema que está sendo estudado, usualmente, formará parte de uma hierarquia de tais sistemas. O sistema superior é muito

importante e exerce considerável influência no sistema hierarquicamente abaixo dele.

- o sistema para funcionar deve ter um objetivo, mas este objetivo é também influenciado pelos demais sistemas do qual ele também toma parte. Normalmente, os sistemas possuem múltiplos objetivos, os quais entram em conflito entre si. Desse modo, é necessário que haja um objetivo geral que afete os compromissos entre esses sistemas concorrentes.
- um sistema para funcionar com a máxima eficiência, deve ser projetado de tal forma que seja capaz de alcançar seu objetivo geral da melhor forma possível.

### 2.3.2.2 Sistemas – Estáticos ou Dinâmicos

Na área de projetos de engenharia, a quantidade de solicitações de projetos, o número de projetos concluídos, o número de especialistas, variam com o passar do tempo. Neste caso, quando normalmente, os elementos constituintes de um sistema flutuam ao longo do tempo, se diz então, que é um sistema dinâmico. Se, ao contrário, todos os elementos do sistema e as relações entre eles não mudam, o sistema é estático (MARTÍNEZ, et al., 1986).

### 2.3.2.3 Sistema - Estado

Conforme Mohapatra et al. (1994), somente aquelas partes que são relevantes ao objetivo do estudo, devem constituir o estado do sistema. a especificação de um sistema depende; tanto do estabelecimento da forma

precisa do objetivo do estudo, quanto da capacidade intuitiva do modelador para localizar com grande precisão os elementos, o relacionamento entre eles e as propriedades relevantes.

#### 2.3.2.4 Sistema - Meio ambiente

O meio ambiente de um sistema, é o conjunto de elementos que não toma parte do sistema, porém uma mudança em alguns destes elementos, pode produzir uma mudança no estado do sistema. Os elementos externos que afetam, simplesmente, de forma irrelevante as propriedades de um sistema, geralmente, são desconsiderados como parte do seu meio ambiente (MOHAPATRA et al., 1994).

Na área de engenharia de projetos, por exemplo, os especialistas fazem parte diretamente da estrutura do modelo do sistema, pois são considerados como integrante do seu meio ambiente e têm haver com o objetivo do modelo. Porém vários elementos, tais como localização, ergonomia, serviços de apoio, etc. fazem parte de ambientes de projetos, entretanto, não foram considerados relevantes para o objetivo do modelo da área de engenharia de projetos.

Rezende & Abreu (2000), reforçam a idéia ao definirem como ambiente de um sistema, o local onde o sistema executa suas funções, considerando tanto o meio ambiente interno como o externo, físico e lógico. Referindo-se às empresas, para que estas possam funcionar plenamente, necessitam ser e estar envolvidas com o meio ambiente interno e o externo e com seus respectivos recursos, isto é, controlando e limitando esse envolvimento.

### 2.3.2.5 Sistema - Equilíbrio

Todo sistema vivo tem um estado de equilíbrio dinâmico; efetuando um balanceamento ordenado entre seus subsistemas, seu sistema superior e meio ambiente. Assim, se um elemento do sistema falhar ao manipular uma força, outros elementos vêm e distribuem este excesso de força (MOHAPATRA et al., 1994).

O modelo construído para a área de engenharia de projetos pretende proporcionar o atingimento do equilíbrio suavemente. O objetivo com as simulações é evitar um equilíbrio forçado, que coloca em risco a estabilidade do sistema, acarretando tanto fadigas de ordem mental e física, quanto riscos na qualidade de vida da equipe. Deseja-se obter com antecedência, respostas às necessidades, visando sempre a atingir o equilíbrio, de modo a evitar o uso de medidas impróprias ou até mesmo drásticas, tal qual muitas vezes, a própria natureza é obrigada a utilizar nos seus sistemas vivos.

### 2.3.3 Teorias de sistemas

Com os anos, juntamente com os conceitos de sistemas, várias teorias para sistemas foram propostas. As principais delas segundo (MOHAPATRA et al., 1994) são:

- teoria geral do sistema;
- cibernética;
- enfoque sistêmico;

- enfoque em sistemas dinâmicos.

### 2.3.3.1 Teoria geral de sistemas

A “Teoria Geral de Sistemas” surgiu na década de 30, com os trabalhos do biólogo austríaco Ludwing von Bertalanffy (ISSS, Internet, 2000). Ele apresentou a teoria de sistemas abertos, na qual afirma que organismos são compostos de elementos em constante interação; que eles são sistemas abertos, trocando tanto matéria quanto energia com o meio ambiente, num regime dinâmico, relativamente estável (equilíbrio dinâmico). Desse modo, Bertalanffy observou que a teoria de sistemas dinâmicos poderia ser aplicada a uma grande variedade de sistemas, passando do conceito biológico ao social. Com isso, desenvolveu idéia da “Teoria Geral de Sistemas” e elevou-a ao nível de ciência unificada (MOHAPATRA et al., 1994).

Entretanto, é aceito que a teoria geral apresentada por Bertalanffy, não emergiu devido a falta, na época, de métodos capazes de lidar com todas as variáveis envolvidas. Quando, a partir de então, se desenvolveram diversas tendências, dentre as quais a “Cibernética”, o enfoque em “Sistemas” e “Sistemas dinâmicos”.

### 2.3.3.2 Cibernética

A Cibernética é uma teoria de comunicação e controle, aplicada a animais, sociedades e máquinas. O primeiro elemento na cibernética é a realimentação, o segundo é a auto-regulação (homeostasis) e controle, onde a ênfase está normalmente na identificação de condições que possam levar à instabilidade e o terceiro é a informação transmitida em resposta, que está



associada com redes de comunicação e teoria de informação (ARNOLD et al., 1998) e (MOHAPATRA et al., 1994).

### 2.3.3.3 Enfoque sistêmico

O celebrado enfoque sistêmico é uma ampliação dos conceitos da teoria de sistemas já mencionados. Na realidade, o enfoque sistêmico não é uma teoria, mas uma linha de pensamento e uma filosofia prática de solução de problemas em sistemas sociais (MOHAPATRA et al., 1994). Segundo Martínez et al. (1986) o enfoque sistêmico se entrelaça com uma série de metodologias, superando o enfoque cibernético, cujo fim principal é o estudo dos ajustes nos organismos e nas máquinas. O enfoque de sistemas, pode ser considerado sinônimo da Teoria Geral de Sistemas, onde a principal finalidade é descrever e apresentar formalmente os sistemas.

Como uma retrospectiva histórica, Rösny (1975) citado por Martínez et al. (1986) apresenta três marcos sobre a evolução do pensamento científico que conduzem ao enfoque sistêmico. O primeiro, nos anos 40 se estabelece uma analogia no conceito de realimentação entre a máquina e os seres vivos, o qual supõe-se abrir a via para a automação e a informática. Em segundo, na década de 50 aparece a inteligência artificial e os robôs industriais, que é o retorno dos seres vivos para as máquinas. E em terceiro, nos anos 60 se produz a extensão da cibernética e das ciências sociais. Cujo representante genuíno desse avanço é o Prof. J. Forrester

### 2.3.3.4 Enfoque em sistemas dinâmicos

O enfoque de sistemas dinâmicos junta idéias desenvolvidas de várias

teorias de sistemas. O crédito pela elaboração das bases da “Dinâmica de Sistemas”, e de levá-la ao status de metodologia geral de análise de sistemas, deve-se inteiramente a Jay W. Forrester professor do “Sloan School of Management, MIT, USA” (MOHAPATRA et al., 1994).

Forrester, mostrou que a “Dinâmica de Sistemas” é uma teoria para estruturar e analisar o comportamento do sistema, ela é o resultado de contribuições cruzadas de idéias, a partir de gerência tradicional, cibernética, e simulação computacional. Com os anos a “Dinâmica de Sistemas” foi emergindo como uma ferramenta de análise de sistemas, sendo que um dos pontos principais a seu favor, a facilidade na construção e comunicação de seus modelos. Por sua vez, os modelos de “Dinâmica de Sistemas” também apresentam os seguintes pontos a favor, segundo (MOHAPATRA et al., 1994; CARDOZO, 2000):

- a habilidade de tratar problemas tanto de longo prazo como de curto prazo, em sistemas reais;
- a simplicidade com que relações complexas e não lineares podem ser modeladas;
- a habilidade para modelar variáveis sociais;
- a facilidade com que os efeitos das alternativas políticas podem ser testados;
- a facilidade na forma de apresentação dos resultados.

Estes pontos a favor influenciaram consideravelmente na escolha da técnica “Dinâmica de Sistemas” como ferramenta capaz de solucionar os problemas de gerenciamento da área de projetos de engenharia. Através da técnica “Dinâmica de Sistemas”, adquire-se um alto grau de conhecimento dos elementos que compõem o sistema estudado. Este conhecimento, somado a capacidade de análise proporcionada pelo modelo de simulação construído, certamente contribuem favoravelmente às tomadas de decisão.

#### 2.3.4 Modelos

Segundo Pidd (1998), um modelo é uma representação externa e explícita de parte da realidade vista pela pessoa que deseja usar aquele modelo para entender, mudar, gerenciar e controlar parte daquela realidade.

Na formulação do modelo para a área de engenharia de projetos, se busca atender o mecanismo e o comportamento do sistema real de um ambiente de projetos e assim poder obter o máximo benefício dele. Para se conseguir maior compreensão sobre um sistema real são necessárias repetidas experimentações, por isso já na construção de um modelo se obtém este benefício.

Segundo Mohpatra et al. (1994), os objetivos óbvios da construção de um modelo do sistema real são:

- entender como um sistema real trabalha;
- ter capacidade de conhecer os fatores que têm grande influência no

controle do comportamento do sistema;

- experimentar e determinar as conseqüências da implantação de várias formas de controle e políticas;
- alcançar uma função de controle viável que dê a máxima satisfação;
- ter capacidade de compartilhar com outros o processo de investigação e seus resultados.

Esses objetivos são óbvios e generalizados, cada modelo naturalmente terá seus próprios objetivos específicos. Dependendo do objetivo da investigação, um sistema pode ser visto e modelado de diferentes formas. Conforme Pidd (1998), pode haver vários modelos para a mesma realidade, depende dos olhos de quem o planeja.

Assim, na área de engenharia de projetos, devido as diferentes percepções e habilidades, e diferentes racionalidades e valores de julgamento do tema estudado se poderia apresentar diferentes tipos de estudos e desenvolver diferentes modelos para o mesmo objetivo da investigação.

#### 2.3.4.1 Classificação de modelos

Os modelos podem ser classificados como modelo mental ou modelo formal, porém a maioria das vezes como modelos informais (MOHPATRA et al., 1994). As imagens que o homem carrega em sua mente são representações simplificadas de um sistema complexo, elas são algumas vezes chamadas de “modelos mentais” (FORD, 1999). Senge (1990, p.17)

descreve modelos mentais como “idéias profundamente arraigadas, generalizações, ou mesmo imagens que influenciam o nosso modo de encarar o mundo e nossas atitudes”.

Na maioria das organizações sociais se usa muito os modelos mentais, particularmente em situações de tomadas de decisões não estruturadas (MOHPATRA et al., 1994).

Para estruturar as decisões, segundo Radzicki (1997), é que entra a “Dinâmica de Sistemas” como solução para o problema do modelo mental, onde o homem interagindo com um computador pode melhorar seu modelo mental e aprender mais a respeito do sistema que ele está tentando entender e controlar.

#### 2.3.4.2 Fronteira do modelo

O modelo da área de projetos é também um sistema, por que ele consiste de componentes que interagem entre eles. Portanto, similar ao sistema real, ele terá um meio ambiente e estará separado do meio ambiente pela fronteira. Entretanto, nem o meio ambiente do modelo do sistema, nem a fronteira do modelo do sistema são de natureza física. Eles são somente conceituais (PIDD, 1998).

Um modelo representa um sistema real, porém somente com relação ao objetivo específico para o qual o estudo é feito. Portanto um modelo construído para a área de engenharia de projetos, visa capturar unicamente aqueles modos de comportamento dos sistemas reais que tem relevância

direta ao objetivo do estudo. Assim o modelo não inclui, nesta fronteira, todos os componentes do sistema real. Por outro lado, a fronteira do modelo pode incluir certos fatores que não formam parte do sistema real, e que estão fora do meio ambiente.

#### 2.3.4.3 Validação de modelos

O assunto para validar modelos de simulação dinâmica, segundo Shreckengost (1985), pode ser tratado completamente e rapidamente: “não há nenhum modelo completamente válido porque todos os modelos são algo a menos que o objeto modelado, ou o sistema, ou seja lá o que for que esteja sendo modelado”.

A preocupação central neste trabalho é com a utilidade em lugar da validade. O modelo serve ao propósito para o qual foi projetado? Ele é útil? Assim, os propósitos devem ser se lembrados na avaliação ou validação da utilidade do modelo. Críticas ao modelos, segundo Ford (1999), devem refletir esta perspectiva. Isto não quer dizer que a verificação do modelo quanto a validade não deva ser feita.

Como já descrito anteriormente, a escolha do nível de detalhes usado no modelo depende do propósito para o qual o modelo foi desenvolvido. A seleção do nível apropriado dos detalhes, dos limites do problema e considerações similares, constitui o aspecto "arte" do desenvolvimento do modelo.

Validade, ou utilidade, se confunde na visão subjetiva do usuário.

Pensa-se em modelos como válidos quando eles podem ser usados com confiança (SHRECKENGOST 1985).

Neste trabalho se realizam os seguintes testes para comprovarem se o modelo é “válido” : testes de estrutura e testes de comportamento.

#### 2.3.4.4 Críticas aos modelos

Como os modelos são simplificações do sistema estudado. Então para melhor entender como o sistema trabalha, monta-se uma paisagem simplificada do modelo real. Porém, para Ford (1999), a chave para a maior utilidade do modelo é deixar de fora um fator desprezível e capturar interações entre fatores importantes. Mas, se um fator é deixado de fora, o modelo é automaticamente sujeito a críticas de que ele não é válido.

Então, como construir confiança no modelo? A descrição de Greenberg (1976) citado por Ford (1999) sobre o uso de “modelos no processo político” é particularmente instrutivo aqui. Ele reviu várias técnicas de modelagens que tinham sido utilizadas na política para influenciar o público. Dentre essas técnicas estava a “Dinâmica de Sistemas”. A revisão lhe concluiu que não há um procedimento uniforme para validação. Nenhum modelo é ou será perfeitamente validado. Visto que, modelos são simplificações do sistema em referência, eles nunca serão inteiramente válidos no senso de ser completamente suportado pelo verdadeiro objetivo. “Útil, convincente, ou inspira confiança”, são termos mais aptos a descreverem uma aplicação de modelos do que “válido”.

## 2.4 Considerações Finais

Esta parte do trabalho com uma breve revisão bibliográfica e histórico da técnica “Dinâmica de Sistemas”, apresentou algumas observações consideradas importantes, bem como as publicações consultadas no durante o processo de evolução da pesquisa. Em complementação, apresentou também alguns importantes conceitos, necessário a uma melhor compreensão das partes que se seguem.

Assim sendo, cabe ressaltar alguns aspectos relevantes sobre a utilização da técnica “Dinâmica de Sistemas” proposta como ferramenta de apoio à tomadas de decisões. Isso se deve não só à natureza dos problemas da área, mas também à orientação técnica dos gerentes para a ampla aplicabilidade da técnica em inúmeras situações, tanto no cotidiano empresarial quanto na vida particular.

O mundo globalizado cria um ambiente competitivo, por isso, as técnicas, as metodologias e os modelos deverão ser adaptados ou até mesmo mudados para fazer frente a uma ampla faixa de objetivos. Nesse contexto, forçados pelo aumento da competição, ferramentas que auxiliam a minimizar riscos e incertezas tornam-se cada vez mais necessárias.

Por conseguinte, trabalhar com modelos de simulação para análise de situações, será cada vez mais freqüente, e o mais importante, as pessoas envolvidas com um determinado problema terão a sua participação exigida, para se melhor atingir aos objetivos da construção dos modelos.



## **CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA PARA OBTENÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO**

A dinâmica em “Dinâmica de Sistemas” refere-se fundamentalmente às mudanças no crescimento, declínio e oscilações. Modelos em “Dinâmica de Sistemas” são construídos para ajudar a entender porque estas coisas ocorrem. A proposta é, melhorar o conhecimento e não predizer (FORD, 1999).

Os modelos representam o momento do sistema, ao se perceber que o sistema está em perigo certamente tomam-se as devidas providências. A simulação do modelo da área de projetos pode revelar situações indesejáveis, tais como: o não cumprimento de prazos; mão-de-obra ociosa ou sobrecarregada; entre outras. Isso dará tempo para as devidas correções, como também mostrará com antecedência situações inevitáveis caso não hajam mudanças políticas.

Neste capítulo primeiramente serão definidos os elementos para a modelagem em “Dinâmica de Sistemas”, usando em alguns exemplos as variáveis ou parâmetros que são utilizados na área de engenharia de projetos.

### **3.1 Elementos de Modelagem em Dinâmica de Sistemas**

Conforme Mohapatra et al. (1994) e Cardozo (2000), para a modelagem em “Dinâmica de Sistemas” é necessário o reconhecimento explícito de dois tipos de fluxos: os fluxos físicos e os fluxos de informação. Sendo que os fluxos físicos são conservados enquanto que os fluxos de informação não. As acumulações ocorrem para ambos os fluxos, entretanto as propriedades dos

fluxos e suas acumulações são diferentes.

### 3.1.1 Acumulações e fluxos

Conforme Ford (1999) e Martin (1997), acumulações e fluxos são a chave para a construção de modelos em “Dinâmica de Sistemas”. Todo sistema que muda através do tempo pode ser representado usando-se somente essas variáveis.

O primeiro conjunto de variáveis, chamado “NÍVEL”, representa acumulações, ou integrações, se o fluxo ocorre continuamente, ou somatórias se os fluxos ocorrem em intervalos de tempo discreto. O outro importante conjunto de variáveis é chamado variável de “FLUXO”. Segundo Cardozo (2000), o problema principal na modelagem em “Dinâmica de Sistemas” está na definição precisa das variáveis de fluxo.

Freqüentemente, as variáveis de fluxo são funções complicadas das variáveis de nível. Em alguns casos, subdividem-se as variáveis de fluxo em varias variáveis auxiliares.

Neste trabalho considerou-se o as seguintes variáveis:

- variáveis de “NÍVEL”, como os “**Projetos**” concluídos e os “**Especialistas**” necessários à produção;
- variáveis de “FLUXO”, como a “**Produção**” e “**Emissão**” de projetos, no mês e a “**admissão**” e “**demissão**” de especialistas, no mês;

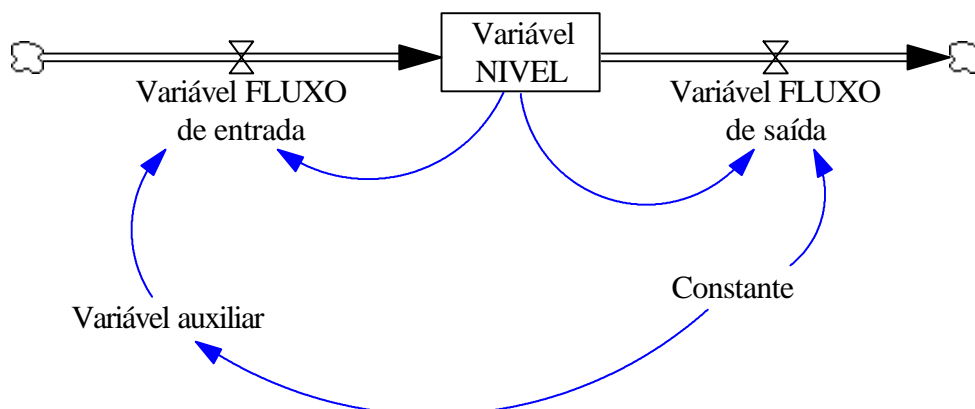
- variáveis auxiliares e constantes, as demais;

### 3.1.2 Diagramas de fluxo

Conforme Pidd (1998), o objetivo principal dos diagramas de fluxo é representar os relacionamentos entre as variáveis de nível e as variáveis de fluxos que formam um modelo em “Dinâmica de Sistemas”.

No digrama de fluxos da Figura 3.1, os símbolos usados são do aplicativo “Vensim”. O “Vensim” como poderá ser visto com maiores detalhes nos Anexos, é um software, dentre outros, desenvolvido para a aplicação da técnica “Dinâmica de Sistemas”.

**Figura 3.1- Diagrama de fluxos**



Na figura 3.1, o retângulo representa o nível, acumulações ou estoques; as flechas com duas linhas sólidas representam os fluxos físicos com sua variável de fluxo; as demais são variáveis auxiliares ou constantes; as nuvens representam a fonte e o destino; e, as setas representam os fluxos de informação.

### 3.1.3 Diagramas de laço causal

Os diagramas de laço causal são representações das relações causa - efeito entre elementos de um sistema, formando uma estrutura de laço de realimentação (PIDD, 1998). Segundo este autor, talvez o primeiro passo ao utilizar “Dinâmica de Sistemas” seja tentar entender os enlaces que fazem parte do sistema em estudo.

Conforme Cardozo (2000), este tipo de diagrama dá uma visão global da estrutura causal do sistema, sendo muito usado nas seguintes situações: em conceitualização de problemas; no desenvolvimento de modelos de equações; na análise e explicação de resultados de casos de simulação; e em projetos de novas políticas.

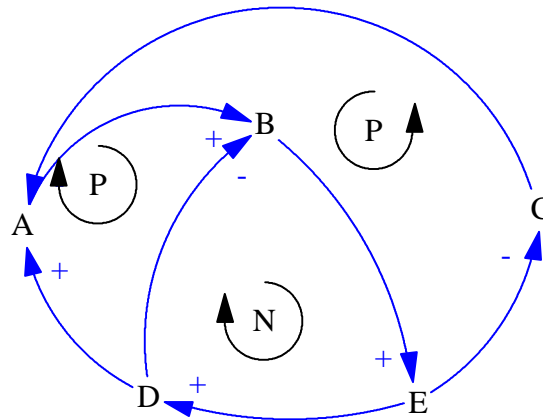
Garcia (2001), lembra que para se modelar uma situação, o importante é começar a fazer versões que pouco a pouco vão se aproximando da complexidade do modelo. Assim, para se construir diagramas de laço causal, deve-se primeiro conhecer as relações causa e efeito e a forma em que elas são identificadas e representadas.

#### 3.1.3.1 Laço causal

Um diagrama de laço causal representa uma sucessão de eventos de causa e efeito, de tal forma que todas as variáveis são de causa e de efeito; dito de outra forma, o diagrama de laço causal inicia e conclui na mesma variável, constituindo uma seqüência de relações circulares (MARTIN, 1997c). Os diagramas de laços causais, Figura 3.2, proporcionam a base para a

construção dos modelos na área de “Dinâmica de Sistemas”.

**Figura 3.2 – Diagrama de laço causal**



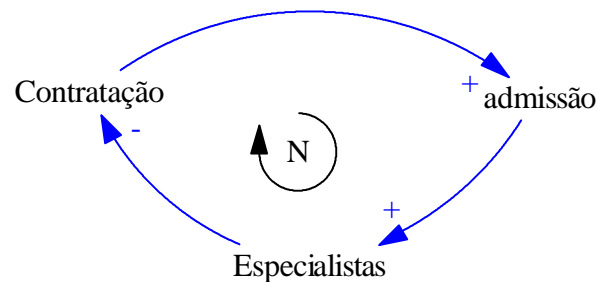
Um laço causal é sempre caracterizado por sua polaridade. A polaridade do laço causal é determinada seguindo-se as relações individuais de causa - efeito no caminho circular de causa (GARCIA, 2001). Conforme Martin (1997c), a representação é por flechas que vão acompanhadas de sinais (+ ou -) que indica o tipo de influência de uma variável sobre a outra. O (+) quer dizer que uma mudança na variável de origem da flecha produz uma mudança no mesmo sentido na variável destino. O sinal (-) simboliza que o efeito produzido será em sentido contrário.

### 3.1.3.2 Relação causal

A relação causa e efeito segundo Cardozo (2000), indica o efeito direto de uma variável sobre outra. Isso quer dizer que enquanto se estuda esta relação causal, despreza-se o efeito de outras variáveis sobre a variável em análise. A relação é mostrada pela união das duas variáveis através de uma flecha. A variável que aparece no início da flecha é a variável causa e aquela

que aparece na ponta é a variável afetada. A flecha indica a direção de causalidade entre a variável causal e a variável afetada. Na Figura 3.3 aparece uma relação causal dentro do da área de projetos de engenharia.

**Figura 3.3 – Relação causal**



Como o efeito de uma variável sobre outra pode ser positivo ou negativo, a ligação pode ser positiva ou negativa, o que mostrado através de um sinal + (mais) ou - (menos) na ponta da flecha. Se a variável “**admissão**” afeta (influência ou causa) outra variável “**Especialistas**”, então aparece uma flecha entre elas. Para estabelecer o sentido da causa, deve-se assumir que:

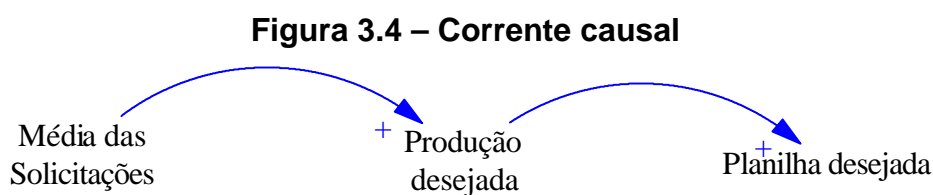
- nenhum outro fator (variável) afeta “**Especialistas**”, e
- inicialmente, ambos “**admissão**” e “**Especialistas**” estão no estado estável, por exemplo, tanto “**admissão**” e “**Especialistas**” tem valores constantes por um tempo.

Então, estuda-se como “**Especialistas**” é afetado devido a perturbação em “**admissão**” (“**admissão**” aumenta ou diminui a partir do seu estado estável). Nota-se que a mudança de “**admissão**” em uma direção causa mudança em “**Especialistas**” na mesma direção, de tal forma que um aumento

(ou diminuição) de “**admissão**” aumenta (ou diminui) “**Especialistas**”, logo a direção de causa é dita positiva. Por outro lado, se uma mudança em “**Especialistas**” em uma direção resulta em mudança em “**Contratação**” em direção contrária, por exemplo, para o aumento (ou diminuição) de “**Especialistas**”, diminui (ou aumenta) “**Contratação**”, então a direção de causa é dita negativa.

### 3.1.3.3 Corrente causal

Uma variável possuirá o “status” de variável causal quando afeta outra variável, mas torna-se uma variável afetada quando é influenciada por outra variável (CARDOZO, 2000). Por exemplo, a “**admissão**” é uma variável causal quando está afetando “**Especialistas**”, porém é considerada uma variável afetada quando influenciada pela “**Contratação**”. A seguir apresenta-se a Figura 3.4, com uma outra sucessão de causas na área de projetos onde indica que a variável “**Produção desejada**” é tanto variável causal como variável afetada.



### 3.1.4 Ordem do sistema

O número de variáveis de níveis em um laço é a ordem do laço de realimentação (CARDOZO, 2000). Assim, um laço de realimentação de primeira ordem possui unicamente uma variável de nível; um laço de segunda ordem

possui duas variáveis de nível; de terceira ordem possui três, e assim por diante.

### 3.1.5 Sistemas dinâmicos lineares abertos e fechados

Segundo Cardozo (2000), um sistema dinâmico é dito linear se a taxa de mudanças de cada “NÍVEL” é linearmente dependente dos valores dos níveis, isto é, os fluxos acompanham diretamente o nível.

Embora as variáveis de “NÍVEL” e de “FLUXO” sejam suficientes para gerarem o comportamento dinâmico, elas não estão sozinhas. Na realidade elas são pontas dos laços de realimentação unidas por acoplamentos não – lineares que freqüentemente causam o comportamento contrário a intuição.

Do ponto de vista da “Dinâmica de Sistemas”, os sistemas são classificados como “abertos” ou “fechados”. Sistemas abertos têm saídas que respondem, mas não têm influência sobre as suas entradas. Sistemas fechados, por outra forma, respondem a ambos os lados e, influenciam suas entradas. Sistemas fechados são então conhecedores de sua própria performance e são influenciados pelo seu comportamento passado, enquanto que os sistemas abertos não são.

Segundo Radzicki (1997), dos dois tipos de sistemas que existem no mundo real, de longe, o mais importante é o sistema fechado. O caminho de realimentação para o sistema fechado inclui, na seqüência, um “NÍVEL” , informações a respeito desse nível, e um poder de decisão que controla as mudanças no “FLUXO”. Todo laço de realimentação em “Dinâmica de Sistemas deve conter pelo menos uma variável de “NÍVEL” e são controlados por dois laços de realimentação: laços positivos e laços negativos.



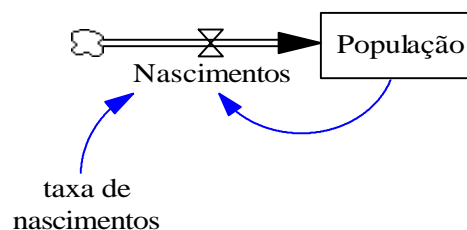
### 3.1.6 Sistemas com laço de realimentação positivo

Os laços de realimentação, segundo Whelen (1996) e , são a causa de quase todos os comportamentos dinâmicos. Para a utilização da técnica “Dinâmica de Sistemas” deve-se compreender os efeitos dos laços de realimentação nos sistemas dinâmicos.

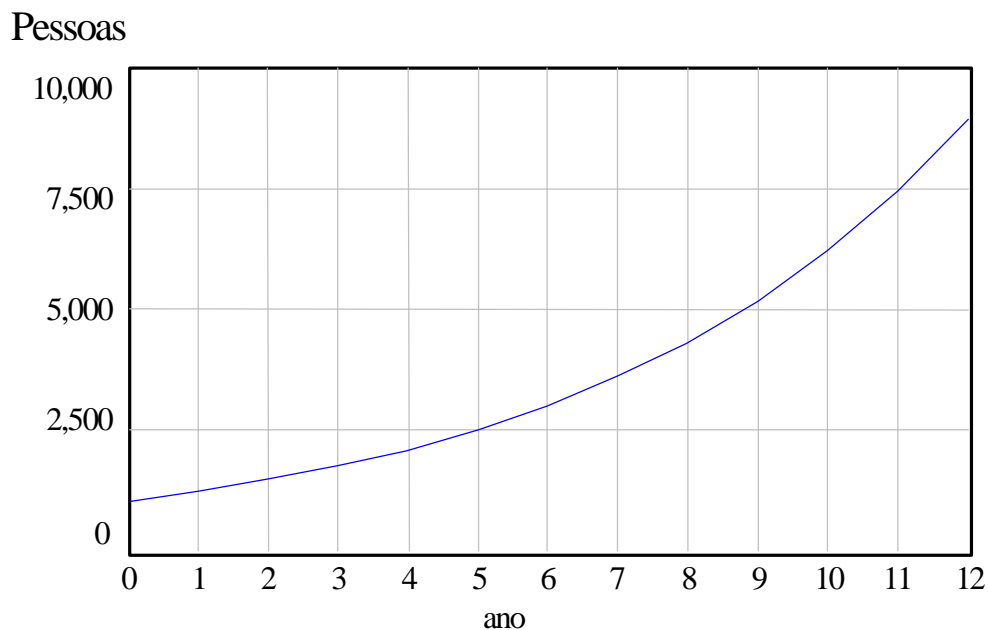
Segundo Radzicki (1997), o laço de realimentação positivo retrata o processo de auto – esforço de maneira que uma ação cria um resultado que gera mais ação, e por sua vez um resultado maior. A realimentação positiva geralmente desestabiliza o sistema e causa um mudança na sua posição corrente contribuindo para o crescimento ou declínio dos sistemas, embora também, ela possa trabalhar para a estabilização dos sistemas.

Conforme Cardozo (2000), um sistema de realimentação positivo reforça qualquer mudança, a partir da condição de estado de equilíbrio. Na Figura3.5 apresenta-se um modelo simples de crescimento de uma população qualquer .

**Figura 3.5 - Diagrama de fluxo simplificado - Crescimento da População**



Neste caso, a taxa de nascimento depende do nível da população pela razão estipulada de fertilidade da população. Esta dependência da variável *Nascimentos* com relação a *População* é mostrada na Figura 3.6 o crescimento da linha é positivo.

**Figura 3.6 – Taxa de nascimentos x população**

Este modelo de crescimento é um exemplo de sistema de laço de realimentação positivo de primeira ordem. Na medida que a população aumenta, o número de nascimentos aumentam, isto a principio parece não ter limites, mas como já se sabe que em todos os sistemas deve haver limites para o crescimento é obvio que neste caso as pressões para limitações têm como seu representante principal a variável morte.

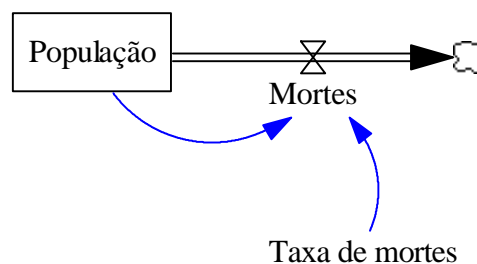
Também, pode-se dizer que o comportamento de um sistema de laço positivo tem um crescimento exponencial, sempre que a variável de nível possuir valores positivos. Se o valor da variável é zero, então o sistema permanece nesse valor. Teoricamente, se o valor inicial de uma variável de nível for negativo, o sistema mostra um declínio exponencial. Entretanto, esta forma de comportamento não acontece na prática, a menos que seja possível ter um valor negativo de uma variável na vida real.

### 3.1.7 Sistemas de laço de realimentação negativo

Segundo Radzicki (1997), laços de realimentação negativos descrevem os processos de “perseguindo metas”, que gera ações intencionais para mover o sistema em uma direção, ou dirigir o sistema para um estado desejado. Este processo estabiliza sistemas, embora ocasionalmente possa desestabilizá-los causando oscilações.

Segundo Albin (1996), a compreensão da estrutura de um sistema, pode complementar a intuição e a capacidade para compreender seu comportamento. Uma estrutura genérica de realimentação negativo busca uma meta, ou seja, tenta mover o nível em direção a algum objetivo desejado. Com base no exemplo anterior, a Figura 3.7, mostra como o sistema procura manter um nível desejado da população através da variável mortes.

**Figura 3.7 - Diagrama de fluxo simplificado - Declínio da População**

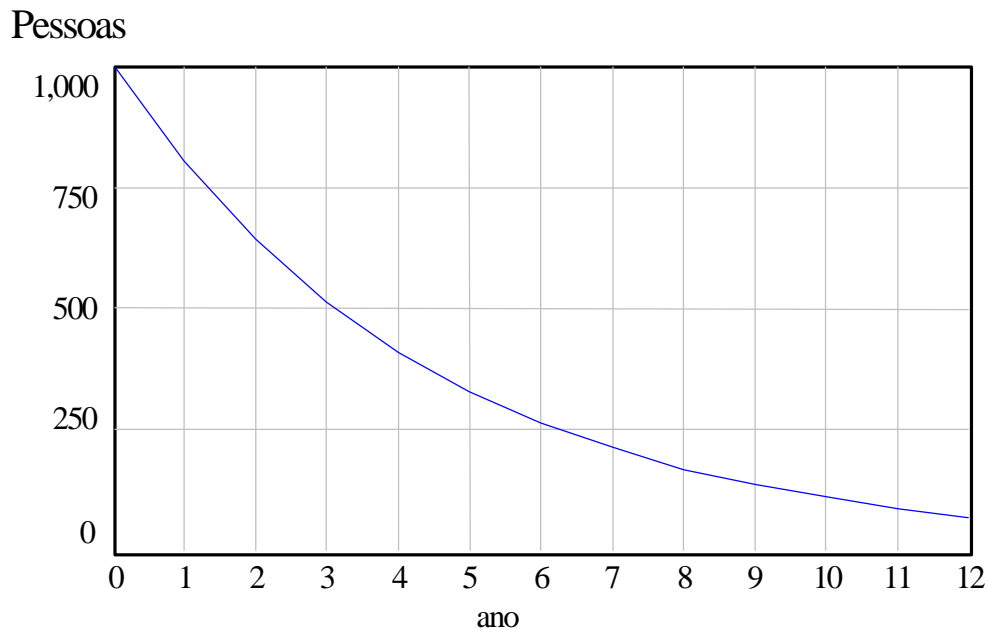


Caso não houvesse nenhum nascimento no sistema, ao final, todos morreriam. Cabe mencionar que todo sistema de controle seja físico, econômico, ou social, é caracterizado por comportamento deste tipo, qual seja, “perseguindo metas”.

A diminuição exponencial é um dos comportamentos que se observam com frequência nos laços negativos. A Figura 3.8 apresenta a característica da curva de diminuição exponencial. Conforme Albin (1996), uma característica importante da diminuição exponencial é seu comportamento assintótico, a curva se aproxima gradualmente de um valor determinado ao longo do tempo.

Outra característica da diminuição exponencial é que, o tempo que se necessita para que a variável se reduza a metade, é sempre constante.

**Figura 3.8 - Taxa de pedido x estoque**



### 3.1.8 Considerações sobre o passo e horizonte de simulação

Cardozo (2000) observa que durante todos os processos de simulação dinâmica, se realizam cálculos que avançam no tempo a pequenos intervalos, até cobrir todo o horizonte de análise. Este tempo incremental de simulação denomina-se normalmente de “passo da simulação” .

Verificar o tamanho do “passo da simulação” é muito importante no processo de simulação, pois, se seu tamanho for desnecessariamente pequeno pode aumentar demais o número de simulações sem o correspondente benefício, por outro lado, se ele for grande “demais”, pode levar até instabilidade numérica da simulação.

O outro parâmetro que deve ser analisado cuidadosamente no modelo, se relaciona com o “horizonte das simulações”. Cardozo (2000) recomenda uma nova análise da finalidade do modelo, sempre que se conclua que a simulação requer um número muito grande de iterações.

### **3.2 Metodologia de Solução: uma abordagem baseada em técnicas de Dinâmica de Sistemas**

Segundo Ford (1999), construir um modelo de simulação é um processo interativo de erros e acertos. O modelo é usualmente construído em etapas com grau crescente de complexidade, até que ele seja capaz de reproduzir o comportamento esperado do sistema que representa. Numa etapa mais avançada, o modelo pode ser utilizado para aprender sobre o comportamento simulado e ainda melhorá-lo pela aplicação de políticas apropriadas.

Cardozo (2000) propõem oito passos para a construção e o teste de modelos de simulação visando a técnica “Dinâmica de Sistemas”. Estes passos estão listados a seguir:

1. aquisição de conhecimentos;
2. especificação do comportamento dinâmico;
3. construção do diagrama de estoques e fluxos;
4. construção do diagrama de laços causais;
5. estimativa de valores dos parâmetros;
6. verificação da consistência;
7. análise de sensibilidade;

## 8. aplicação de políticas.

O primeiro passo, como seu nome indica, serve para se adquirir o maior conhecimento possível sobre o objetivo do modelo. Aqui se deve familiarizar com todas as relações que regem o sistema, e deve-se identificar claramente as variáveis imprescindíveis e as mais importantes; normalmente não é possível representar absolutamente todas as variáveis do sistema.

O segundo passo, o comportamento dinâmico do sistema, é provavelmente o passo mais importante do processo. Como na etapa anterior foram determinados os detalhes mais importantes do sistema, neste passo deve-se fazer a seguinte pergunta: “Realmente o sistema tem um comportamento dinâmico?”; se afirmativo, elaborar um gráfico da variação no tempo de uma das variáveis mais importantes do modelo. Este gráfico é conhecido pelo nome de “modo de referência”.

O terceiro passo, serve para a construção de um diagrama de estoque e fluxo. Aqui é muito importante seguir algumas regras simples, porém bastante efetivas: iniciar sempre pela definição das variáveis de estoque; na seqüência, adicionar seus fluxos, e finalmente as demais constantes e variáveis do modelo. Vale a pena notar que um cuidado especial deve ser tomado com as unidades das variáveis. Não esquecer que a variável do “modo de referência” deve estar presente no diagrama.

O quarto passo serve para a construção do diagrama de laço causal. A finalidade deste diagrama é a visualização dos principais laços do modelo. Em

alguns sistemas, pode-se ter uma estrutura de laços muito complicada; nesta situação deve-se optar pela elaboração de vários laços parciais.

A seqüência de construção, primeiro, do diagrama de estoque e fluxo, e posteriormente do diagrama de laços causais, não é uma regra definitiva. Neste trabalho julgou-se mais conveniente inverter a seqüência, pois isto também é perfeitamente válido.

A estimativa dos parâmetros, que constitui o quinto passo, deve ser feita “uma por vez”, fazendo uso de todas as fontes disponíveis. Deve-se estar preparado para tratar e dar uma faixa de variação às incertezas; alguns parâmetros poderão ser conhecidos com uma precisão próxima ao 100%, entretanto, outros podem ser conhecidos com apenas 10% de precisão.

Deve-se resistir à tentação de eliminar as variáveis com alta incerteza. Eliminar significa dar ao parâmetro o valor ZERO, e muitas vezes é melhor representar a variável porque sua precisão pode no futuro ser melhorada, mesmo por outros modeladores.

No sexto passo deve-se “rodar” o modelo e comparar seu resultado com o “modo de referência”. A questão importante deste passo é verificar se o resultado do modelo está de acordo com o comportamento esperado no segundo passo. Caso afirmativo, se alcança uma das metas do processo de elaboração – o modelo é “consistente”.

Para efetuar os testes de sensibilidade do sétimo passo, mude os

valores dos parâmetros do modelo várias vezes. Seu objetivo é verificar se o comportamento do resultado é sensível a mudanças nos parâmetros com maior incerteza. Deve-se verificar se o modo de referência após cada teste mantém um comportamento adequado e atingiu uma outra meta do modelo. Caso positivo, o modelo pode ser considerado como “robusto”. Um modelo é chamado “robusto” quando ele gera o mesmo comportamento geral, apesar das incertezas nos valores dos parâmetros.

O último passo indica a realização de testes de políticas. Com esta finalidade, roda-se o modelo várias vezes, variando-se os parâmetros relacionados às variáveis “políticas”.

Freqüentemente acredita-se em uma certa confusão entre “testes de políticas” e “testes de sensibilidade”, mas isto facilmente se esclarece quando se considera que, sobre os parâmetros políticos, o modelador tem controle, o que não ocorre com os parâmetros testados no teste de sensibilidade; estes parâmetros são controlados pelo sistema.

### **3.3 Considerações Finais**

Esta parte do trabalho, em primeiro lugar detalha os elementos necessários para a modelagem via a técnica “Dinâmica de Sistemas” oferecendo as informações necessárias e por conseguinte o alcance desse objetivo específico, em segundo apresenta a metodologia de solução, definindo os oito passos necessários ao alcance do próximo objetivo, que é a construção do modelo de simulação.



Considera-se esta parte do trabalho, uma das partes principais para o desenvolvimento de modelos via a técnica “Dinâmica de Sistemas” . Adquire-se nela, os conhecimentos básicos necessários o desenvolvimento dos princípios da técnica.

## **CAPÍTULO 4 - MODELO DE SIMULAÇÃO PARA A DIVISÃO DE ENGENHARIA ELETROMECÂNICA (ENEE.DT)**

Este trabalho apresenta a formulação de um modelo para simulações de um ambiente de projetos de engenharia. A metodologia utilizada estabelece critérios de avaliação orientados ao objetivo, aprimorando principalmente o conhecimento dos envolvidos na criação do modelo, com relação ao sistema analisado.

Analisar sistemas tem como objetivo solucionar ou evitar que problemas ocorram. A seguir descreve-se mais detalhadamente o problema a ser estudado neste trabalho.

### **4.1 Descrição do Problema**

Utilizou-se como caso de aplicação prática neste, a área de engenharia de projetos da Usina Hidrelétrica de Itaipu (UHI), a maior usina hidrelétrica em operação no mundo, um empreendimento binacional desenvolvido pelo Brasil e pelo Paraguai, localizada no rio Paraná.

A área estudada denomina-se Divisão de Engenharia Eletromecânica (ENEE.DT), que realiza projetos eletromecânicos para toda a Empresa, sejam eles pequenos, médios ou grandes. Sua dinâmica consiste em receber as solicitações, classificá-las como tarefas, distribuí-las entre os especialistas, para análise, programação e execução. Por fim, emitir através de memorandos a solução do problema, seja em forma de projetos, revisões de desenhos, etc. Sempre de forma que atenda ao órgão solicitante.

As tarefas são estocadas (acumuladas) conforme a disponibilidade dos especialistas. O ideal é o mínimo de tarefas acumuladas no menor tempo possível. As solicitações são recebidas das diversas áreas da Empresa e são despachadas para os especialistas, tão logo dêem entrada no sistema. A produção é imediatamente programada pelo especialista em uma base mensal. Portanto, para tudo ir bem, a ENEE.DT deve manter as solicitações atendidas conforme as prioridades discutidas entre o solicitante e o seu especialista. Infelizmente as solicitações ao se sobreporem às tarefas acumuladas, ocasionam um acúmulo de difícil solução, onde o gerenciamento das tarefas acumuladas, a princípio, requer a contratação de terceiros ou a prorrogação dos prazos programados. As questões são: a contratação de quantos? Até quando? Ou, prorrogar os prazos e executar os serviços com a equipe própria?

## **4.2 Simulação Dinâmica da Divisão de Engenharia Eletromecânica**

Para uma simulação dinâmica é necessário construir-se modelos dirigidos a objetivos traçados. O primeiro passo para construção de modelos de simulação, conforme Figura 4.1, é a aquisição de conhecimentos. Então, familiarizar-se com todas as relações que regem o sistema onde está inserida área a ser estudada, é a maneira de começar a construção e o estudo do seu modelo.

**Figura 4.1 – Passos para construção de modelos**

1° Passo	AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTOS
2° Passo	ESPECIFICAÇÃO DO COMPORTAMENTO DINÂMICO
3° Passo	CONSTRUÇÃO DO DIAGRAMA DE ESTOQUE E FLUXOS
4° Passo	CONSTRUÇÃO DO DIAGRAMA DE LAÇOS CAUSAIS
5° Passo	ESTIMATIVA DE VALORES DOS PARÂMETROS
6° Passo	VERIFICAÇÃO DA CONSISTÊNCIA
7° Passo	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE
8° Passo	APLICAÇÃO DE POLÍTICAS

#### 4.2.1 1° Passo - Aquisição de conhecimentos

Para tal começa-se pela Usina Hidrelétrica de Itaipu (UHI), que atualmente tem uma potência instalada de 12,6 milhões de quilowatts (kW), com 18 unidades geradoras de 700 mil kW cada uma. A partir de 2003, a Itaipu contará com 20 unidades, ampliando sua capacidade instalada para 14 milhões de kW.

Em 1999, a Itaipu produziu 90 bilhões de quilowatts hora, um recorde de

geração jamais alcançado por outra hidrelétrica no mundo. A usina é responsável pelo suprimento de 91% da energia elétrica consumida no Paraguai e 25% de toda a demanda do mercado brasileiro.

A Itaipu vem batendo recordes ano a ano, graças ao seu desempenho. Os indicadores de disponibilidade estão entre os melhores do mundo, resultado do grande cuidado dentre outros, da engenharia do projeto, que em conjunto com a manutenção e operação da usina, mantém a empresa em constante “**Atualizações tecnológicas**” tornando-a altamente competitiva.

Um exemplo está nas medidas que foram tomadas para elevar a disponibilidade de suas unidades geradoras e, em consequência a sua capacidade de geração. Essas providências permitiram melhorar as condições de atendimento ao sistema interligado das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. Após criteriosos estudos, o corpo técnico da Itaipu conseguiu, através de ajustes no controle e proteção das unidades geradoras, um ganho adicional de 350 mil kW na capacidade de geração da usina. A construção de uma usina desse porte (350 mil Kw) demoraria uns quatro anos e custaria cerca de US\$ 360 milhões.

A Itaipu Binacional foi criada por força de um tratado entre Brasil e Paraguai para promover o aproveitamento dos recursos hídricos de um trecho do rio Paraná, pertencente em condomínio aos dois países, os quais participam da empresa em absoluta igualdade de direitos e obrigações.

Por força da sua binacionalidade, a Itaipu tem um regime jurídico de

direito internacional. A fonte primária do direito a ela aplicável é o Tratado de Itaipu e seus Anexos, que se sobrepõe às leis dos dois países naquilo que com elas colidirem. As relações trabalhistas e previdenciárias dos trabalhadores da Itaipu também estão sujeitas a regimes jurídicos especiais, sendo reguladas por protocolos adicionais ao tratado.

O aproveitamento desses recursos hídricos promove também uma atração turística com um potencial médio de 1500 turistas por dia. Atualmente foi solicitado à engenharia, um “**Projeto complementar**” de som e luz, para propiciar visitas turísticas noturnas que, certamente, irão aumentar esses números.

Com respeito ao meio ambiente, a preocupação com o impacto ambiental foi cuidadosamente observada durante o projeto do reservatório e, é até hoje motivo de rigorosos estudos para a manutenção das áreas verdes nativas e a criação de reservas para garantir a sobrevivência e preservação da fauna regional, além de ações para melhorar a qualidade de vida do local.

Como parte dessa organização dinâmica temos a Divisão de Engenharia Eletromecânica (ENEE.DT), que não poderia deixar de ser também dinâmica, e na qual fixamos nossos estudos na aplicação da técnica “Dinâmica de Sistemas”.

A Divisão de Engenharia Eletromecânica (ENEE.DT), tem as seguintes atribuições:

- coordenar, supervisionar, aprovar e executar os estudos e projetos de engenharia eletromecânica da (UHI), das demais instalações destinadas a produção e transmissão de energia, da infra-estrutura de apoio, das obras externas, assim como de qualquer outro projeto necessário à Entidade.
- estabelecer os critérios de projetos de engenharia eletromecânica, determinando as normas e os métodos aplicáveis a execução dos trabalhos;
- fornecer suporte técnico de engenharia eletromecânica para a Entidade;
- apoiar os demais órgãos da Entidade na elaboração de requisitos técnicos de qualidade de fabricação e na seleção das normas técnicas;
- acompanhar os resultados das análises de desempenho das instalações eletromecânicas, e emitir parecer para os casos que apresentem divergências de suas especificações originais de projeto;
- desenvolver e participar dos estudos para a verificação do desempenho e definição das causas de anomalias surgidas durante a operação dos equipamentos, sugerindo soluções e tomando as medidas necessárias para sua correção;

- participar das negociações para a elaboração dos contratos relativos aos projetos de engenharia eletromecânica, assim como, para a compra de equipamentos e componentes correspondentes;
- acompanhar a inspeção de fabricação dos equipamentos eletromecânicos contratados;
- analisar e aprovar os Planos de Inspeção e Testes, assim como, os Relatórios de Divergências e Testes;
- acompanhar e supervisionar o desenvolvimento dos projetos de fabricantes, a análise técnica e a evolução das pendências de engenharia, reunir os pareceres técnicos para a liberação e controlar a emissão de desenhos contratuais finais;
- participar do comissionamento e ensaios de aceitação dos equipamentos eletromecânicos.

Para o planejamento da Divisão de Engenharia Eletromecânica (ENEE.DT) observou-se que numa empresa geradora de energia, em operação, os trabalhos de projetos decorrem conforme exemplos citados anteriormente de dois motivos principais: “**Atualizações tecnológicas**” e “**Projetos complementares**”.

Não existe uma diferença exata entre o que consiste atualização tecnológica ou desenvolvimento de projetos complementares, mas pode-se tentar definir a primeira como sendo aqueles projetos a serem feitos ao longo



da vida da usina para evitar a obsolescência dos equipamentos e acessórios, e adequá-los às novas tecnologias emergentes; e a segunda, como aqueles projetos que permitem à planta alcançar e manter sua máxima capacidade prevista.

Como exemplo de atualização tecnológica tem-se a substituição de peças fora de fabricação, adequação das instalações a padrões tecnológicos atuais, substituição de sistemas de controle ou a troca de proteções analógicas por digitais; e como principal exemplo de projetos complementares cita-se a ampliação da capacidade instalada com a aquisição de duas novas unidades geradoras.

Para atender as solicitações de serviços, a área dispõe, constantemente, de uma equipe própria para projetos; além disso, se a equipe própria não for suficiente para atingir seus objetivos no prazo previsto, existe a “possibilidade” de se contratar serviços de terceiros.

De posse dos conhecimentos que regem a dinâmica da Divisão de Engenharia Eletromecânica (ENEE.DT) e, antes de partir para o próximo passo na construção do modelo. Faz-se necessário para dar subsídio, tanto na especificação do comportamento dinâmico, quanto na construção dos diagramas de laços causais e de estoque e fluxos, relacionar as variáveis e parâmetros considerados para a área em estudo, ver Figura 4.2. Esta relação apresenta definições e unidades e, na sua elaboração permite ao modelador selecionar as variáveis e parâmetros envolvidas com o problema em estudo.

**Figura 4.2 – Relação de variáveis e parâmetros**

<b>VARIÁVEL / PARÂMETRO</b>	<b>DEFINIÇÃO</b>	<b>UNIDADES</b>
(01) admissão	Fluxo de entrada de Especialistas	Pessoa/mês
(02) Atualização Tecnológica	Solicitações de projetos ou revisões de projetos freqüentemente necessários, para manter a Usina com tecnologia de ponta	Tarefas/mês
(03) Contratação	Cobertura das necessidades de Especialistas	Pessoa/mês
(04) cPd	Tempo de cobertura de projetos desejados	Mês
(05) Demissão	Fluxo de saída de Especialistas	Pessoa/mês
(06) Dmp	Tempo de duração das contratações	Mês
(07) Tempo estimado dos Contratos	Tempo estimado dos Contratos	Mês
(08) Emissão	Fluxo de saída de Projetos	Tarefas/mês
(09) Especialistas	Equipe de produção da área de engenharia de projetos	Pessoas
(10) Fator de correção	Corrige no tempo a diferença entre projetos desejados e projetos concluídos	Tarefas/mês
(11) Média de Solicitações	Média das solicitações nos “últimos” meses (ver “tmS”)	Tarefas/mês
(12) Planilha desejada	Força de trabalho necessária	Pessoa/mês
(13) Produção	Fluxo de entrada de Projetos	Tarefas/mês
(14) Produção desejada	Produção necessária para atender a demanda prevista	Tarefas/mês
(15) Produção normal	Produção da equipe	Tarefas/mês
(16) Produtividade	Produtividade por especialista	Tar/pes/mês
(17) Projetos	Projetos concluídos	Tarefas
(18) Projetos complementares	Solicitações para manter a Usina competitiva	Tarefas/mês
(19) Projetos desejados	Projetos conforme a demanda prevista	Tarefas
(20) Solicitações	Atualizações tecnológicas mais Projetos complementares	Tarefas/mês
(21) tcP	Tempo para corrigir discrepâncias entre o número de projetos concluídos e projetos desejados.	Mês
(22) tcT	Tempo para contratação	Mês
(23) tmS	Tempo para a média de Solicitações	Mês

#### 4.2.2 2º Passo – Especificação do comportamento dinâmico

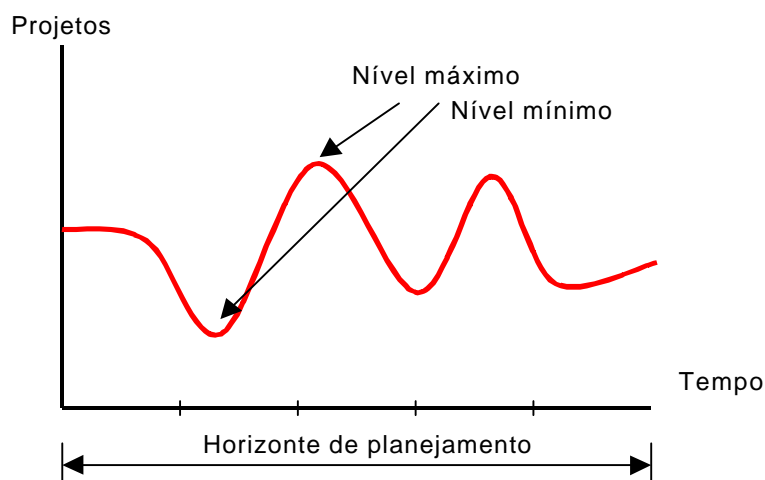
Na área de engenharia de projetos da UHI, existe um fator fundamental na sua produção. Este fator está associado à variação dinâmica do fluxo de produção de projetos a atender.

Seu produto decorre dos compromissos assumidos com as demais áreas da empresa, e o fluxo máximo de “**Emissões**” de projeto é estabelecido com a finalidade de assegurar um mínimo de solicitações acumuladas, nem que para isso, como já dito, tenha que recorrer a contratação de terceiros.

Levando-se em conta estes fatores de variação, pode-se associar mudanças dinâmicas de níveis entre dois valores extremos; o máximo e mínimo de projetos concluídos. Na formulação do modelo, esta variação pode ser representada por uma variável que será de agora em diante denominada, de “**Projetos**”. Devido sua importância no contexto global, pois é o produto final da área, foi escolhida como o “Modo de Referência” do modelo.

No gráfico da Figura 4.3 a seguir, observa-se que: a princípio, a quantidade de projetos diminui, quando há um aumento no número de solicitações; esta situação permanece até a produção conseguir reagir; nesse intervalo haverá um aumento no número de solicitações acumuladas que forçará o aumento da produção e esta aumentará um pouco mais que o necessário; em seguida diminuirá e assim sucessivamente oscilando até alcançar o equilíbrio.

**Figura 4.3 - Modo de referência da engenharia de projetos**



Finalizando, no que diz respeito à variação dos níveis de projetos. Pode-se mencionar que no planejamento da engenharia, mantém-se este valor o mais próximo possível do número de solicitações, somado a uma reserva tática gerencial. Sobre a quantidade de solicitações no mês, esta é a soma das solicitações, tanto por motivos de atualização tecnológica, quanto por projetos complementares. Cabe aqui ressaltar, que a área não tem controle sobre essas variáveis. Ficando o seu planejamento, em função da média de solicitações dos últimos 12 meses.

#### 4.2.3 3º passo – Construção do diagrama de laços causais

Para a elaboração dos diagramas observa-se, com relação aos critérios que regem a Divisão de Engenharia Eletromecânica (ENEE.DT), o seguinte:

- A "**Produção desejada**" da ENEE.DT é determinada antecipadamente com base na demanda prevista. A "**Produção desejada**" também pode ser modificada para manter a quantidade

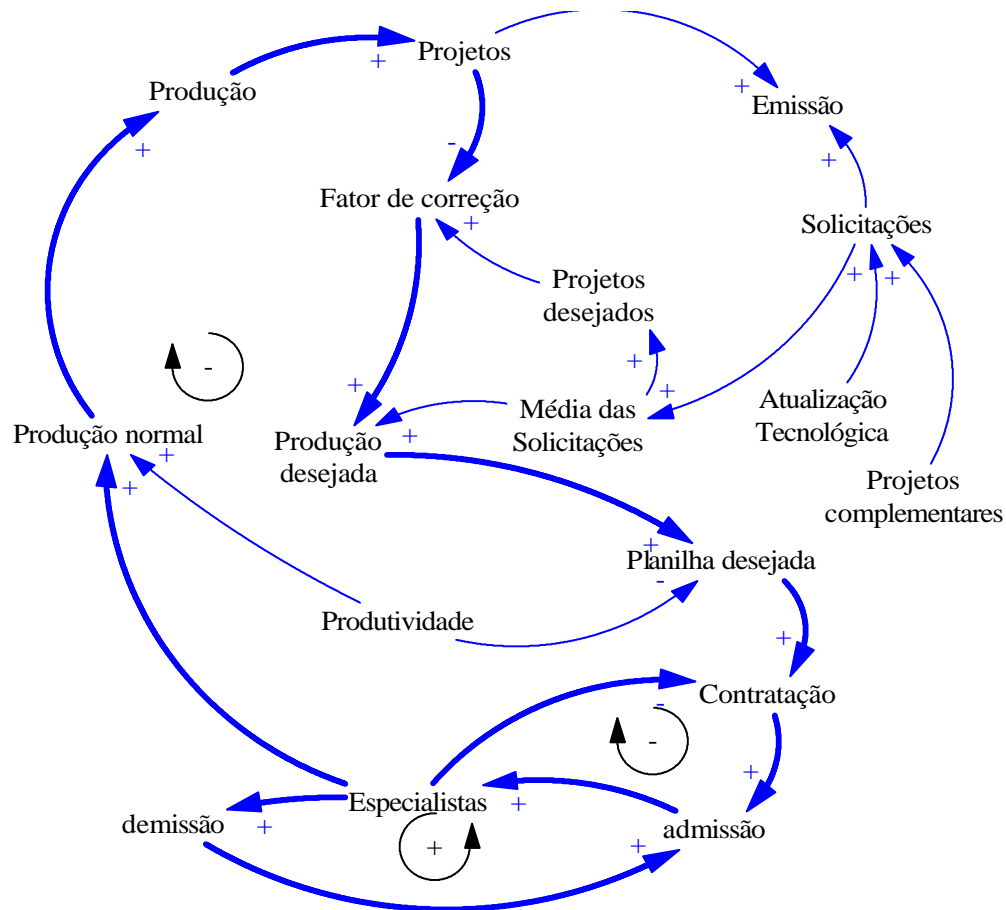
de “**Projetos**” a um nível desejado;

- A “**Produção**” real coincide com a desejada quando a equipe de produção “**Especialistas**” está folgada, porém se a quantidade de serviços “**Solicitações**” aumentar, a ENEE.DT não tem condições de contratar pessoal imediatamente. Na realidade, são necessários 6 meses para se licitar e contratar, ou treinar, especialistas ou equipe de especialistas. A Empresa no geral, não tem o costume de contratar pessoal por pouco tempo, os contratos para esse fim são de no mínimo 24 meses sob a forma de terceirização (externamente), empréstimos ou transferências entre áreas (internamente);
- A política de “**Contratação**” , é representada numa planilha de pessoal com relação à situação desejada. A “**Planilha desejada**” de pessoal se determina com base na “**Produção desejada**” da ENEE.DT e a “**Produtividade**” individual, a qual é estimada em 1(uma) tarefa por especialista por mês, considerando nesta estimativa as férias anuais. Também é norma da Empresa não permitir a permanência de funcionários não autorizados fora do horário do expediente, isto mantém a rigidez das 40 horas semanais;
- A ENEE.DT comunica o atendimento das solicitações a seus “clientes”, através de memorando, o qual é emitido após os documentos de projetos darem entrada no arquivo técnico, sendo assim, consumadas com a “**Emissão**”;

- A ENEE.DT calcula a demanda prevista pela “**Média das solicitações**” recebidas nos últimos 12 meses, não descartando, desta forma, o efeito de pedidos atípicos;
- Os “**Projetos desejados**” têm que ser em número necessário para cobrir 1 mês de “**Solicitações**”. Para assim atenderem a rotina de produção, que programa o atendimento das solicitações para início no mês seguinte, a contar da data de chegada da solicitação. Exceto para as solicitações com caráter de urgência, que são atendidas imediatamente, em substituição a outras de menor necessidade, que são reprogramadas a partir desta;
- A ENEE.DT tende a corrigir as discrepâncias, “**Fator de correção**”, entre os “**Projetos**” e os “**Projetos desejados**” em 2 meses.

De posse dos critérios que regem a ENEE.DT, elabora-se o diagrama de laços causais, conforme Figura 4.4. Nele aparece as principais relações causais envolvidas nesta área, onde se pode verificar no laço principal: que a variável “**Projetos**” depende da “**Produção**”; que por sua vez depende da “**Produção normal**”; que depende da “**Especialistas**”; que depende da “**admissão**”; que depende da “**Contratação**”; que depende da “**Planilha desejada**”; que depende da “**Produção desejada**”; que depende do “**Fator de correção**”; que por fim depende da variável “**Projetos**”.

**Figura 4.4 - Diagrama de laço causal da engenharia de projetos**



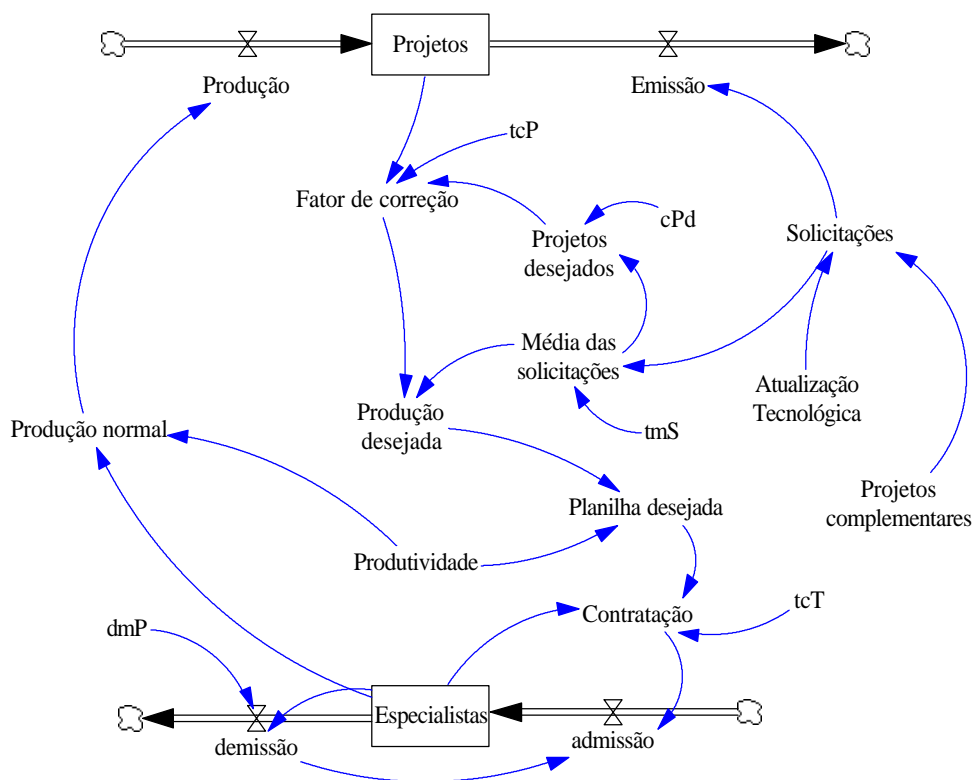
#### 4.2.4 4º Passo – Construção do diagrama de estoque e fluxo

Nos diagramas usados pela técnica “Dinâmica de Sistemas” representam-se as relações físicas que envolvem o processo traduzido pelo modelo. Para, num estágio superior, possibilitar a sua simulação dinâmica (CARDOZO 2000).

O diagrama pode ser bastante extenso e exigir uma representação

detalhada de cada um dos componentes. Entretanto, este trabalho dá ênfase a criação de um modelo para apoio ao planejamento da área de engenharia, o que implica somente no detalhamento das variáveis desse processo.

**Figura 4.5 – Diagrama Principal do modelo da engenharia de projetos**



O diagrama, mostrado na Figura 4.5 com a denominação de diagrama principal, está associado à variação dinâmica dos “**Projetos**”, ou seja, apresenta as variáveis que influenciam mudanças na quantidade de projetos executados pela área. Nele pode-se observar a seleção da variável “**Projetos**” como uma variável estoque; o motivo que avalia esta seleção, é porque num sistema real, quantidades de projetos concluídos é efetivamente o estoque de produção da área de projetos. Como também a variável “**Especialistas**” é o estoque de mão de obra efetivo dessa área.



Tanto as variáveis “**Produção**” e “**Emissão**”, quanto as variáveis “**admissão**” e “**demissão**” são os fluxos que diretamente afetam a quantidade estocada de “**Projetos**” e “**Especialistas**” respectivamente. As equações associadas a estes diagramas de estoques e fluxos são dadas pelas seguintes expressões:

$$\mathbf{Projetos} = \text{INTEG} (+\text{Produção} - \text{Emissão}, n)$$

O INTEG significa que o valor do estoque é achado por integração do efeito do fluxo no tempo.

$$\mathbf{Produção} = \text{Produção normal}$$

$$\mathbf{Emissão} = \text{Solicitações}$$

$n$  = tarefas como reserva tática gerencial, parcialmente concluídas, não são emitidas no mês por estarem aguardando alguma informação e ao mesmo tempo cobrindo a programação da produção do mês.

$$\mathbf{Especialistas} = \text{INTEG} (+\text{admissão} - \text{demissão}, n)$$

$$\mathbf{admissão} = \text{demissão} + \text{Contratação}$$

$$\mathbf{demissão} = \text{Especialistas}/dmP$$

$$\mathbf{dmP} = \text{tempo de duração dos contratos}$$

$n$  = número de especialistas do quadro próprio da área que participa diretamente da produção.

Para uma melhor análise dos diagramas de estoque e fluxo, dividiu-se o modelo principal em duas partes, focalizando-se as duas variáveis de nível do modelo, “Projetos” e “Especialistas”.

Para a determinação do número da variável “Projetos”, o fluxo de “**Emissões**”, a qualquer instante, é dado pela quantidade transformada em fluxo dos “**Projetos**”. Porém, o número de emissões é igualado, para haver um equilíbrio, ao número de “**Solicitações**” que é utilizado também para determinar a “**Média das Solicitações**”. Para o cálculo desta média é também necessário estipular previamente um tempo com histórico das solicitações recebidas “**tmS**”.

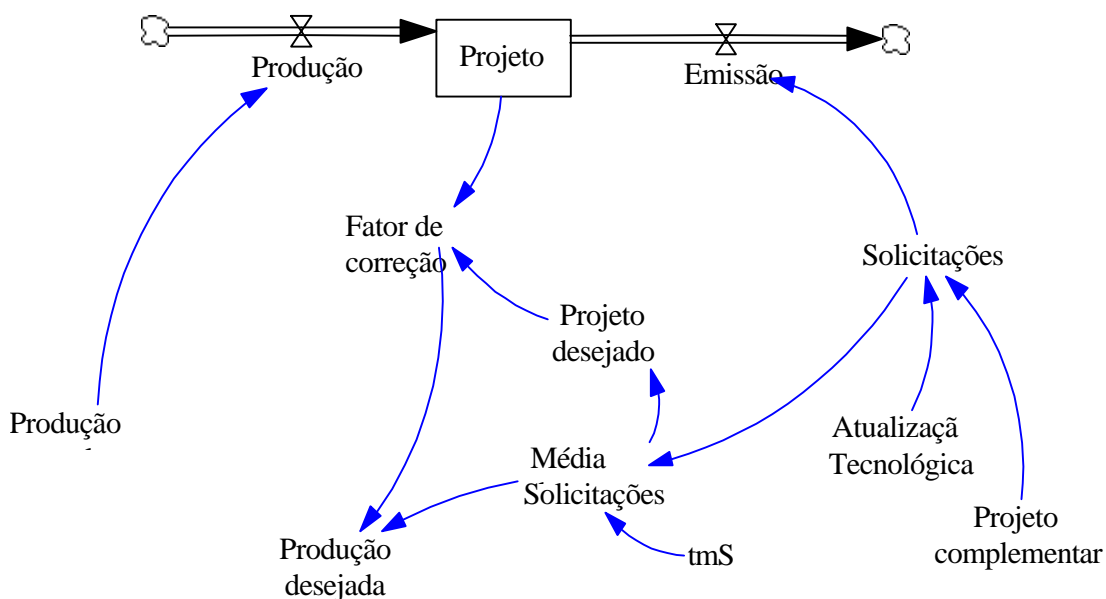
Esta necessidade de dispor previamente do número de “**Solicitações**” para a determinação da “**Média das Solicitações**”, e assim determinar a quantidade de “**Projetos desejados**” como também a “**Produção desejada**”, para aplicação da técnica de “Dinâmica de Sistemas”, não representa dificuldade, uma vez que se aproveitam as médias das solicitações dos anos anteriores, no caso 1999, 2000 e 2001. Isto é um problema na simulação por ser apenas três anos, sendo uma restrição do modelo. Mas se os anos seguintes continuarem fixos isto não será mais um problema porque a média dos anos fica uma perto da outra. Assim, definindo a variável “**Solicitações**” como sendo hipoteticamente uma constante baseada na média histórica, este requisito é satisfeito, nos primeiros períodos de simulação, e nos períodos seguintes, utiliza-se o fluxo final do período anterior como fluxo inicial do novo período.

Com relação ao número inicial de “**Projetos**”, seu valor deve ser escolhido conforme a seguir:

- Fluxo total de entrada, fluxo de “**Produção**”. A tendência é manter o estoque próximo ou igual ao valor das solicitações, e se este fluxo é menor que o fluxo necessário para atender à demanda, será previsto um adicional executado por terceiros ou alguma outra estratégia.
- Fluxo para atender à demanda, fluxo de “**Emissões**”. Se este fluxo é maior que o fluxo total de entrada, fluxo de “**Produção**”, o número de “**Projetos**” será diminuído, ficando abaixo do desejado. Aqui é muito importante que o planejador tenha um bom conhecimento sobre a capacidade de produção da equipe.

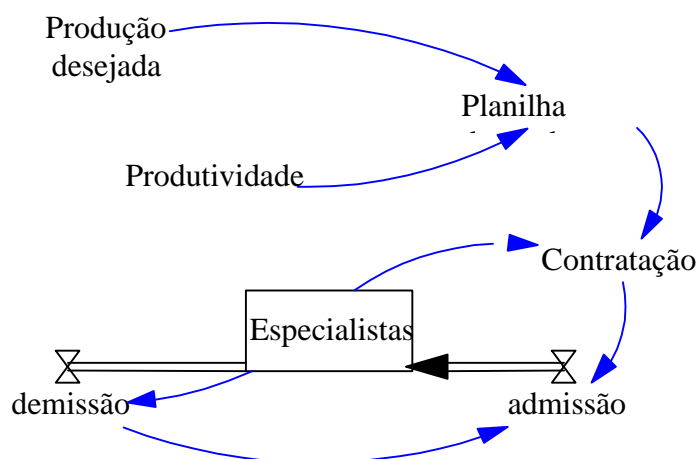
A Figura 4.6 apresenta parte do modelo principal da engenharia, como um modelo parcial com as principais variáveis que determinam a quantidade de projetos elaborados pela ENEE.DT.

**Figura 4.6 – Modelo para a determinação do número de projetos**



Para a outra análise com relação ao número de “**Especialistas**”, Figura 4.7, este é definido conforme as necessidades da produção “**Produção desejada**”, que influenciam numa planilha “**Planilha desejada**”, que por sua vez atua sobre as contratações “**Contratação**”, e esta sobre as admissões “**admissão**”. Este fluxo denominado admissões “**admissão**”, comparado com o fluxo de saída demissões “**demissão**”, somados a uma constante que é o número de especialistas do quadro próprio, determina o valor inicial procurado, que é o número de “**Especialistas**”.

**Figura 4.7 – Modelo para determinação do número de especialistas**



A figura 4.7 apresenta as principais variáveis que determinam o número de especialistas necessário a cada instante da produção.

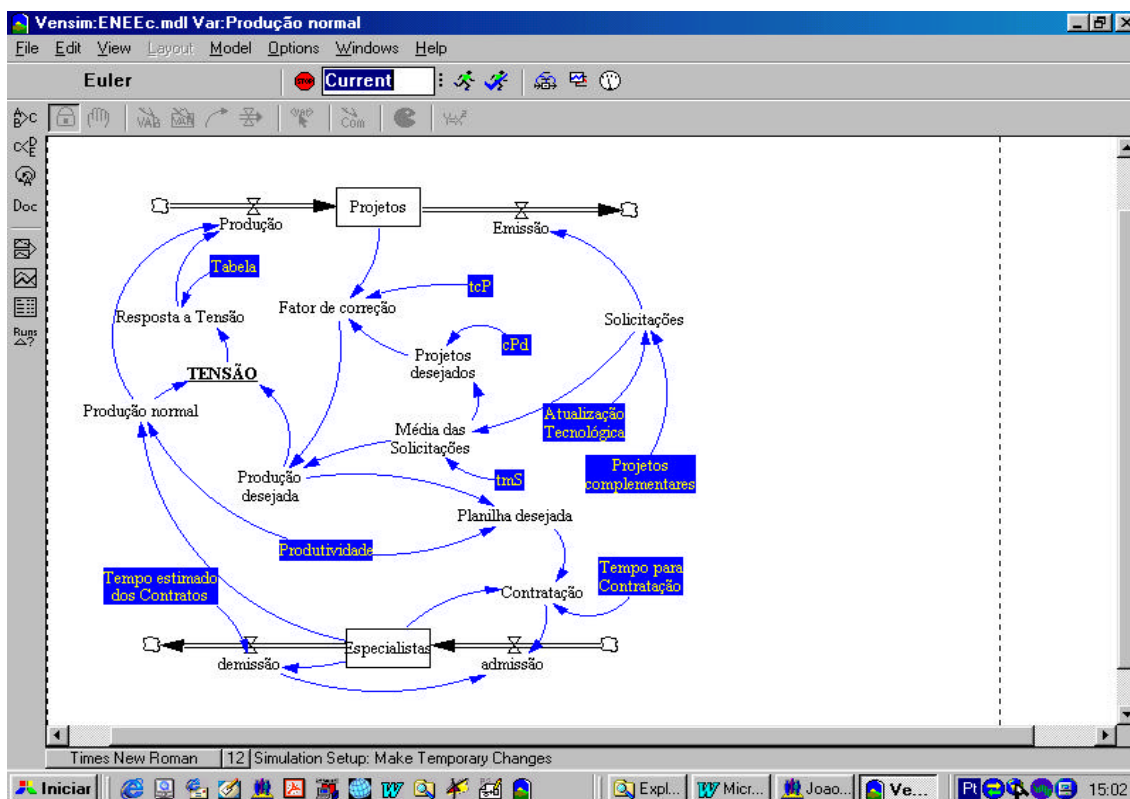
#### 4.2.5 5º Passo – Estimativa de valores dos parâmetros

Para efeito de realização dos testes de funcionalidade do modelo, são utilizados parâmetros reais. Este procedimento permite a obtenção de

resultados também reais, sendo que o mais importante, permite em itens posteriores efetuar testes de validação do modelo.

O software “Vensim PLE”, conforme a Figura 4.8, destaca os parâmetros reais manuseáveis para facilitar a sua utilização nos testes e simulações. Como já foi dito anteriormente o software “Vensim” é utilizado para aplicar a técnica “Dinâmica de Sistemas”. Neste trabalho, na parte dos anexos, faz-se umas comparações com os demais softwares do mercado, mostrando algumas vantagens e desvantagens entre eles, porém optou-se pela utilização do software “Vensim” simplesmente por questões de familiaridade.

**Figura 4.8 – Parâmetros de simulação**



Para a construção do modelo para a ENEE.DT, baseado em médias conseguidas no na área de engenharia de projetos e observações por experiência profissional, estimou-se os seguintes parâmetros:

**Atualizações tecnológicas** = 15 tarefas / mês;

**Projetos complementares** = 5 tarefas / mês;

**Produtividade** = 1 tarefa / mês

**Tempo para Contratação** = 6 meses;

**Tempo estimado dos Contratos** = 24 meses;

**Tempo p/ corrigir quantidades de Projetos (tcP)** = 2 meses;

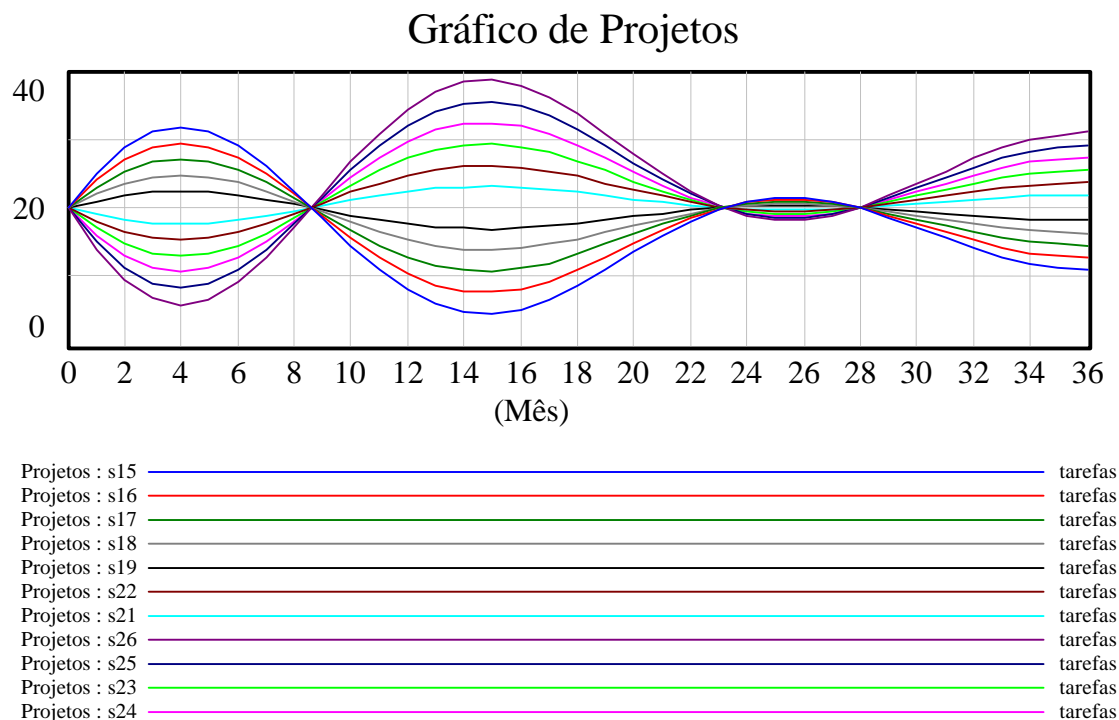
**Tempo de cobertura de projetos desejados (cPd)** = 1 mês;

**Tempo p/ calcular a Média das Solicitações (tmS)** = 12 meses.

#### 4.2.6 6º Passo – Verificação da consistência

Já foi proposto um modo de referência baseado na variação “**Projetos**” elaborados com relação ao tempo conforme o item 4.2.2 – Figura 4.3. A fim de verificar se o modelo construído fornece resultados de acordo com o “Modo de Referência”, são feitas simulações, variando-se gradativamente a quantidade inicial de solicitações. Conforme estabelecido, todas as corridas são feitas sobre um horizonte de 36 meses e os resultados obtidos apresentam-se na Figura 4.9.

**Figura 4.9 - Modo de referência com variação no número de solicitações.**



Antes da análise dos resultados, é importante destacar que o modo de referência do item 4.2.2 mostra que o estoque de “**Projetos**” pode variar entre dois limites, o máximo e o mínimo, sendo que, caso o limite mostre-se abaixo da média, isto indica que está havendo acúmulo de solicitações, devido a pedidos atípicos.

Na Figura 4.9 verifica-se que, dependendo do valor inicial das solicitações de projetos (s15, s16, s17...,s26), a quantidade de “**Projetos**” aumenta ou diminui entre limites normais. Este comportamento está de acordo com o modo de referência adotado, considerando o seguinte raciocínio:

- as solicitações de projetos em determinados períodos são menores

do que o fluxo necessário para atender à demanda e, em outros, são maiores; isto implica que, para o atendimento da demanda, em determinados períodos, é necessário contratar terceiros ou acumular tarefas, e no inverso o modelo sugere demitir. Esta situação aumenta ou diminui a quantidade de “**Projetos**”, conforme o comportamento mostrado na Figura 4.9.

Concluída esta série de testes, pode-se afirmar que os resultados obtidos e os resultados esperados apresentam comportamentos muito próximos; em outras palavras, o modo de referência procurado foi alcançado. Com isto, pode-se afirmar que os resultados fornecidos pelo modelo são “consistentes”.

#### 4.2.7 7º Passo – Análise de sensibilidade

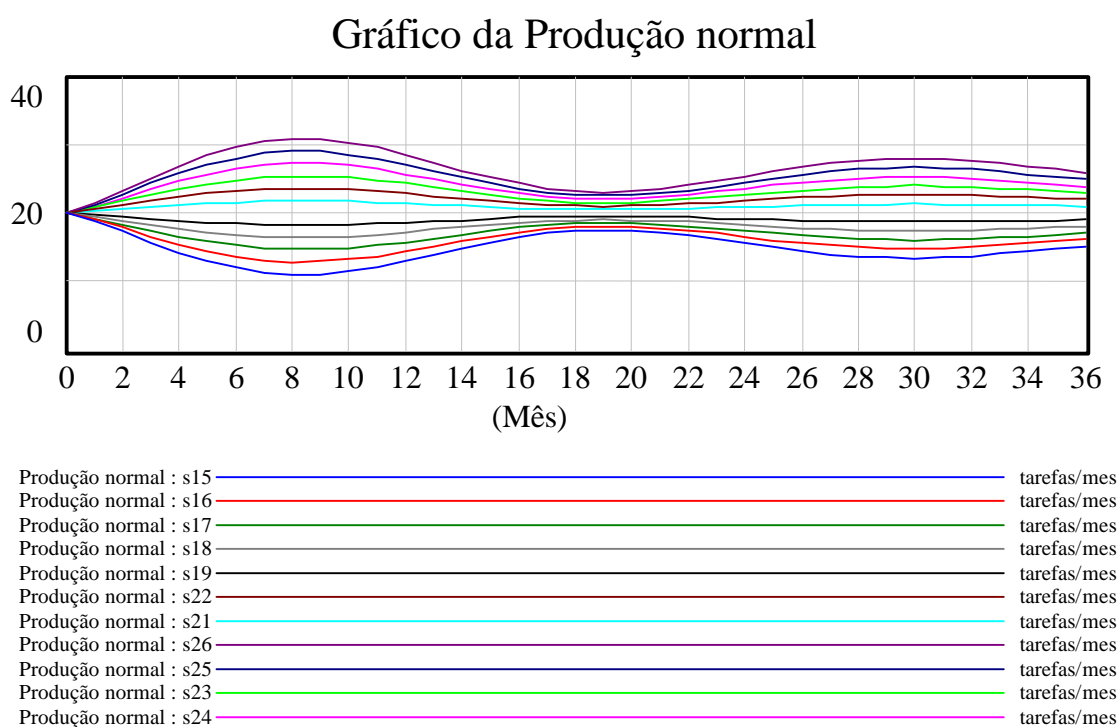
A análise de sensibilidade é feita sobre parâmetros que não podem ser controlados diretamente pelo usuário. Assim, escolheu-se apresentar para esta série de testes a análise de sensibilidade do número de “**Produção normal**”, com relação às possíveis variações nas quantidades iniciais de “**Solicitações**”.

É conhecido que a equipe pode produzir valores normais somente quando o número de solicitações é menor ou igual a sua capacidade de produção; quando esta relação se inverte a equipe passa a produzir valores inferiores até ser realimentada por decisões gerenciais de contratação ou mudanças políticas estratégicas. Caso nenhuma decisão seja tomada gera o acúmulo de solicitações e o desconforto na equipe.



Para verificar a relação efetua-se uma série de testes, variando-se a quantidade de “**Solicitações**” iniciais. Os resultados alcançados estão apresentados na Figura 4.10, e nela se observa o esperado, onde a produção da equipe oscila conforme se varia o número inicial de “**Solicitações**”.

**Figura 4.10 - Gráfico da “Produção normal” variando-se as “Solicitações”.**

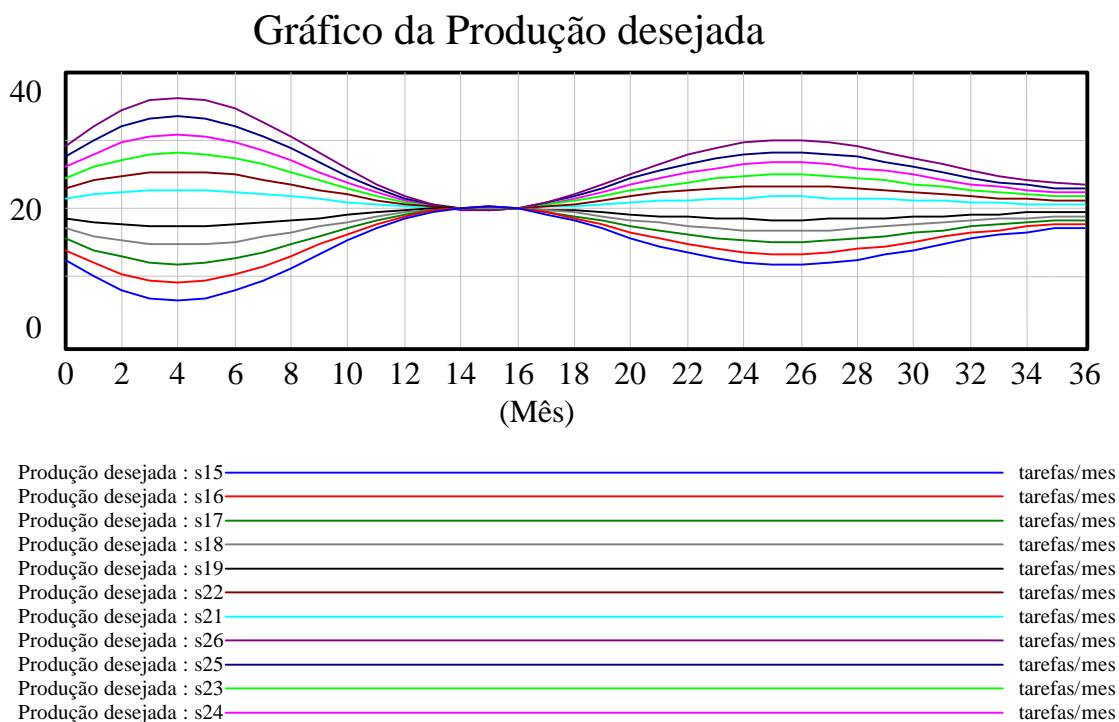


A partir destes testes, mais a verificação de sensibilidade mudando-se outros parâmetros do modelo (embora não apresentado neste trabalho), pode-se concluir que uma segunda meta da elaboração do modelo foi alcançada; esta meta é a da verificação da “robustez” do modelo; em outras palavras, pode-se considerar que o modelo elaborado atende às características de “robustez”.

#### 4.2.8 8º Passo –Teste de políticas

O objetivo deste teste é demonstrar a influência das decisões gerenciais sobre o sistema. A Figura 4.11 apresenta o gráfico da “**Produção desejada**” variando conforme as “**Solicitações**”.

**Figura 4.11 - Gráfico da “Produção desejada” variando-se as “Solicitações”.**



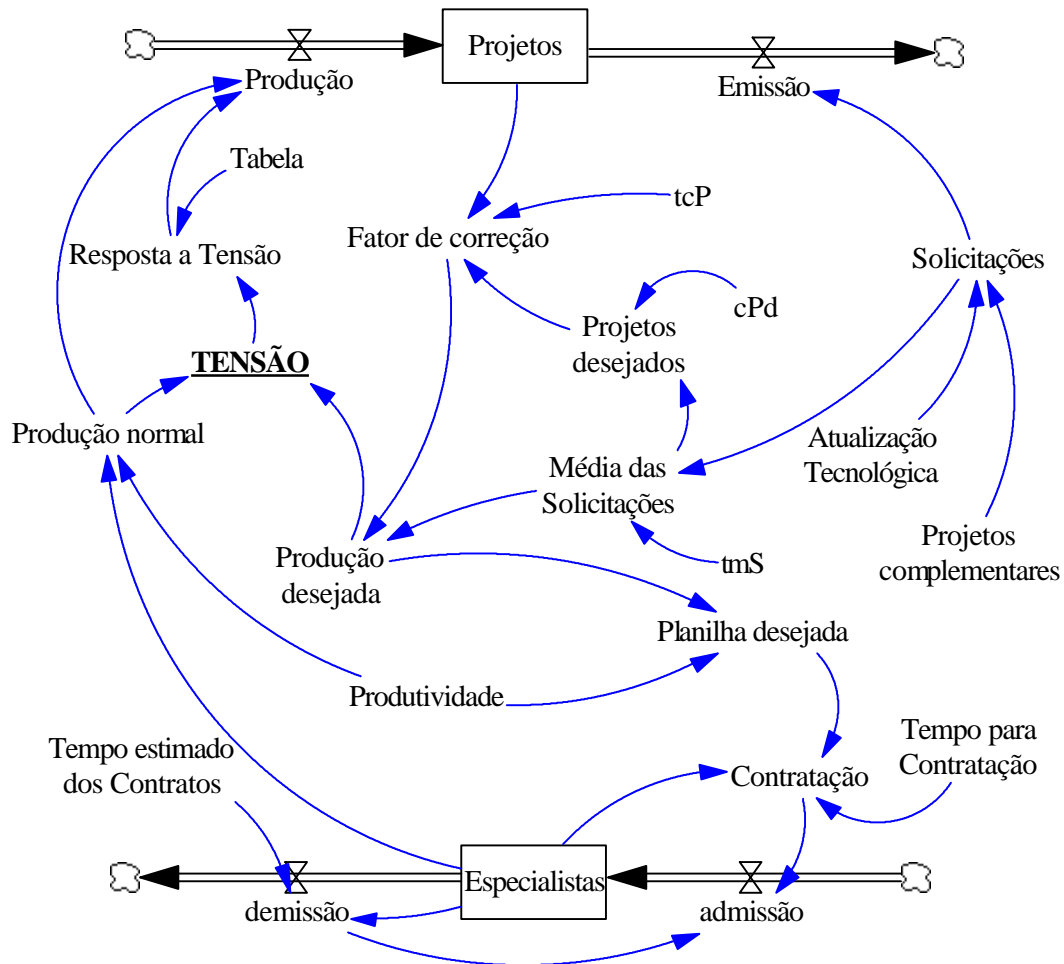
Comparando-se com o gráfico da Figura 4.10, verifica-se que existem diferenças entre a “**Produção normal**” e a “**Produção desejada**” quando influenciadas pela mesma variação do número de “**Solicitações**”. Realmente estas diferenças ocorrem, principalmente, pelo certo grau de incerteza sobre o número necessário de atualizações tecnológicas ou de projetos

complementares para a usina. Quando não se tem uma certeza sobre a demanda de solicitações de serviços, o que ocorre na maioria dos setores de produção, uma das providências tomadas atualmente pelas empresas, é a criação de jornadas de trabalho flexível.

A adoção do sistema de horário móvel é uma estratégia sugerida neste trabalho, pois além de ser conveniente, é possível de ser aplicada pela estrutura gerencial da UHI. A prática de jornadas de trabalhos flexíveis está se tornando uma solução estratégica para reduzir a rotatividade nas empresas, melhorar a moral e atrair talentos. Ela, na situação aplicada, além de contribuir da forma descrita, objetiva reduzir as tensões de produção que são geradas, pela diferença entre a “**Produção desejada**” e a “**Produção normal**”. A empresa poderá negociar a possibilidade de realizar jornada de trabalho flexível (não sendo necessário pagar horas extras). A partir da jornada de trabalho atual de 40 horas semanais, a Empresa pode propor uma flexibilidade de 35 horas semanais mínimas e 50 máximas. Criando o que se pode chamar de “banco de horas”.

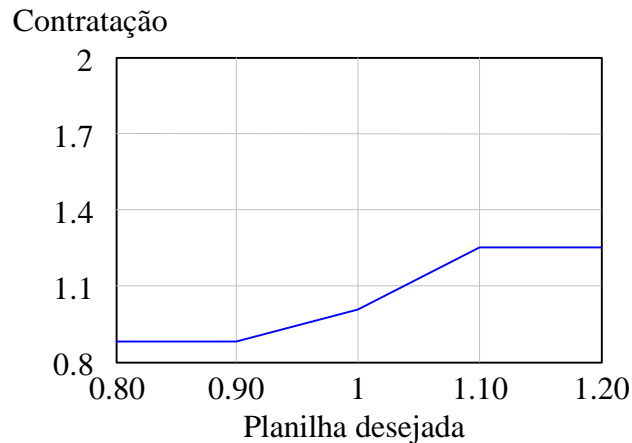
Para simulação desta estratégia através da técnica “Dinâmica de Sistemas”, é necessário aplicar algumas alterações no modelo principal. A Figura 4.12, apresenta o modelo principal da Divisão de Engenharia Eletromecânica (ENEE.DT) com as modificações necessárias para realizar as simulações. Nele pode-se analisar o efeito da utilização de uma jornada flexível no sistema real.

**Figura 4. 12 – Modelo com aplicação da estratégia política**



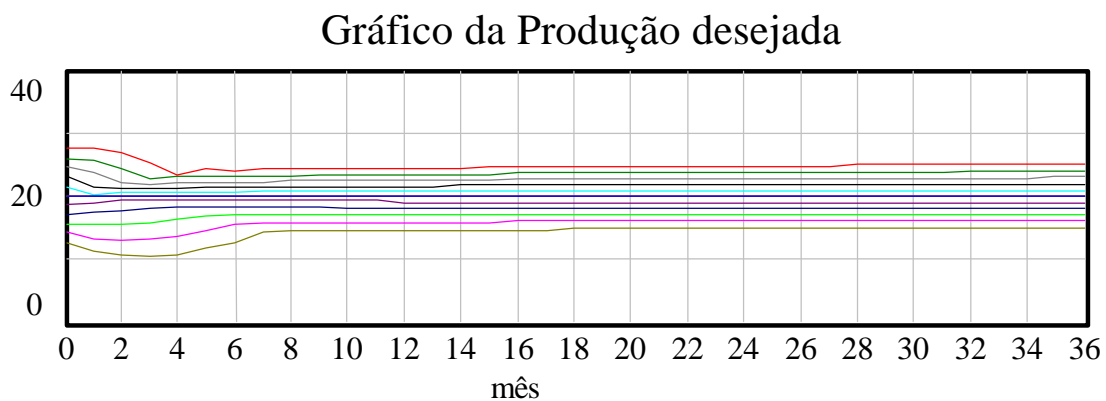
A Figura 4.13, apresenta o gráfico da função “**Tabela**” que é gerada para relacionar as variáveis “**Planilha desejada**” e “**Contratação**” . Estas variáveis, sofrem influência da estratégia de jornada flexível e, com a tabela, se pode estabelecer uma relação não linear porém simples. Assim quando a “**Planilha desejada**” vale 1 fazemos a “**Contratação**” valer 1, este é o ponto (1,1) e a medida que a “**Planilha desejada**” aumenta ou diminui a “**Contratação**” acompanha.

**Figura 4.13 – Gráfico Tabela**



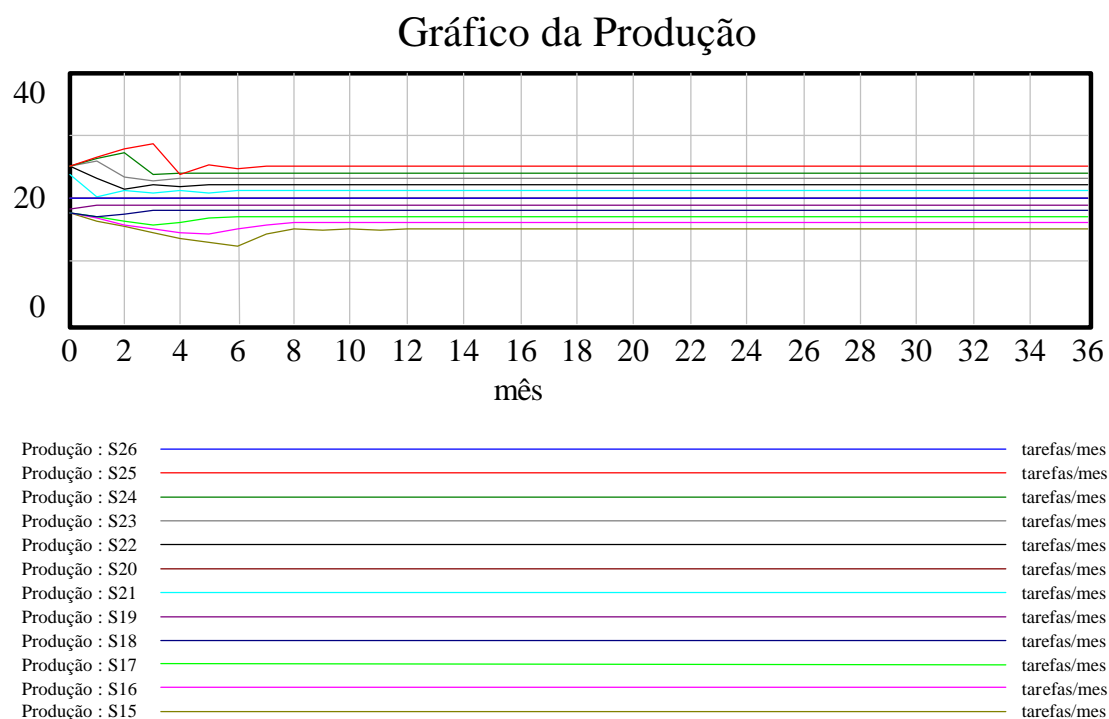
Para verificação prática da aplicação da estratégia sugerida, a Figura 4.14 apresenta o gráfico da simulação dinâmica do novo modelo, com a variável “**Produção desejada**”, onde pode ser comparado com o gráfico da Figura 4.15 com a variável “**Produção**”, ambos simulados sob as mesmas condições de variação das “**Solicitações**” .

**Figura 4.14 – Gráfico da “Produção desejada” com horário móvel**



Produção desejada : S26	—	tarefas/mes
Produção desejada : S25	—	tarefas/mes
Produção desejada : S24	—	tarefas/mes
Produção desejada : S23	—	tarefas/mes
Produção desejada : S22	—	tarefas/mes
Produção desejada : S20	—	tarefas/mes
Produção desejada : S21	—	tarefas/mes
Produção desejada : S19	—	tarefas/mes
Produção desejada : S18	—	tarefas/mes
Produção desejada : S17	—	tarefas/mes
Produção desejada : S16	—	tarefas/mes
Produção desejada : S15	—	tarefas/mes

**Figura 4.15 – Gráfico da “Produção” simulado com horário móvel**



O teste demonstra que a aplicação de jornada flexível de trabalho traz a “**Produção**” para próximo da “**Produção desejada**”, contribuindo para o equilíbrio do sistema o qual oscila devido ao ambiente analisado ter um regime de produção intermitente, sendo nestes casos, considerada uma boa estratégia a utilização do horário móvel.

Conforme o teste apresentado, outros testes de políticas podem ser facilmente aplicados, demonstrando para o sistema analisado as vantagens a serem obtidas muitas vezes com mudanças bem simples. Esta mudança política estratégica sugerida atende a todos os setores de produção, principalmente os de serviços que é o caso do setor de projetos.

### **4.3 Considerações Finais**

Esta parte do trabalho atinge o objetivo da criação do modelo para simulação da área de engenharia de projetos. Apresenta-se nela, uma descrição sobre a ENEE.DT e a UHI como fonte de informações para se alcançar o conhecimento, primeiro passo para a construção de modelos. Na seqüência e como subsídio para se alcançar o objetivo foi seguido os demais passos de construção, proporcionando a definição das variáveis e parâmetros do modelo, partindo-se de observações no próprio ambiente analisado.

Com a conclusão do modelo, partiu-se para a simulação e aplicação dos testes de sensibilidade e aplicação de políticas onde se obteve o resultado positivo, aprovando o modelo para a aplicação prática, assunto da próxima parte do trabalho.

## **CAPÍTULO 5 - SIMULAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO PARA A DIVISÃO DE ENGENHARIA ELETROMECÂNICA (ENEE.DT)**

Com a finalidade de realizar a aplicação do modelo criado, utilizou-se uma situação real dentro da UHI onde a ENEE.DT tem um papel fundamental. Esta aplicação também vale como testes de validação do modelo.

A situação analisada, é criada pela instalação das duas novas máquinas geradoras, que gera uma situação atípica onde o modelo construído neste trabalho pode ser aplicado. As considerações e os parâmetros utilizados, foram obtidos diretamente na ENEE.DT.

Com base nas observações das necessidades da ENEE.DT, simulou-se o comportamento do modelo para os próximos 36 meses, estabelecendo-se que dentro de 6 meses devido ao início da instalação de mais duas máquinas geradoras, unidades 9 A e 18 A, na usina, a quantidade de solicitações de serviços de engenharia aumentará em 15% e, que este aumento de serviços se estenderá por, a partir desta data, por mais 12 meses. Após este pico de trabalho, estima-se então, uma queda de 20 % nas solicitações de serviços à ENEE.DT, para então se manter equilibrado nessa situação.

Deseja-se saber qual a decisão a ser tomada para se atravessar este período sem maiores problemas tanto para a equipe quanto para os serviços. O que fazer? Contratar mais pessoal para este período, ou manter a mesma equipe?



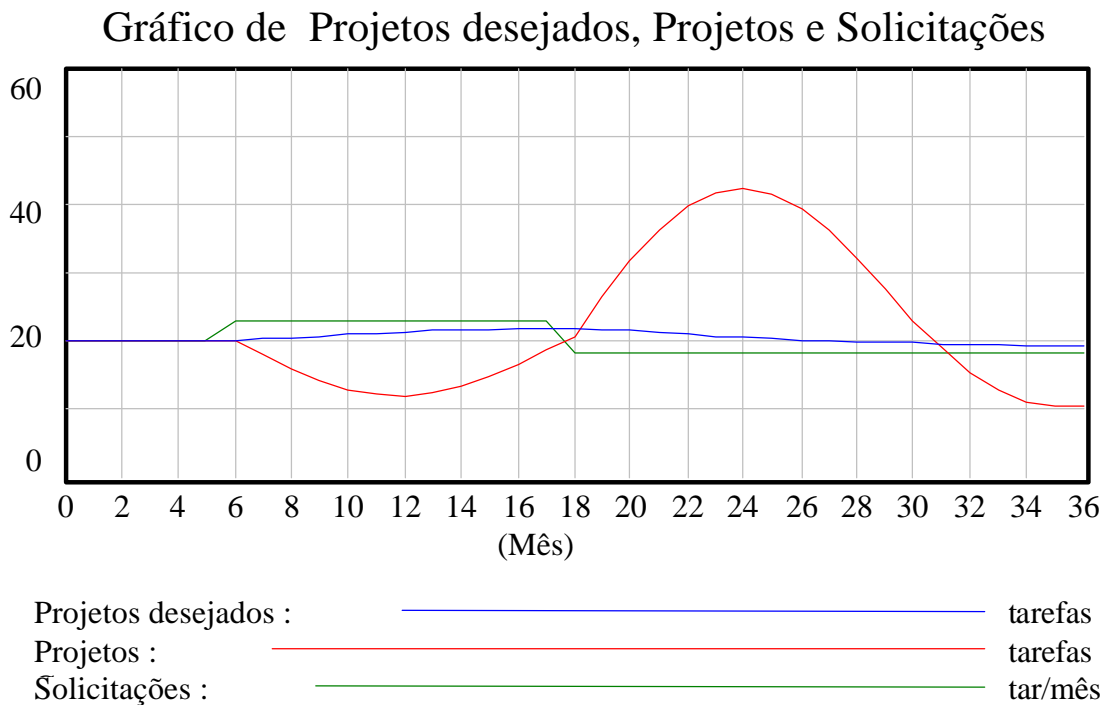
## 5.1 Simulações Computacionais

As simulações computacionais a seguir serão realizadas com o objetivo de aplicar a situação descrita anteriormente e testar o modelo elaborado para a engenharia de projetos da UHI.

### 5.1.1 Aplicação do Modelo

Como já mencionado, para o desenvolvimento do modelo foi usado o software “Vensim” e os resultados obtidos estão apresentados na Figura 5.1. Nela pode-se observar o comportamento real, ou seja, conforme comportamento do “Modo de Referência” (Figura 4.2, item 4.2.2). A quantidade de projetos, oscilando em defasagem com relação aos projetos desejados, atingindo a valores provenientes da situação atípica em que o modelo está simulado. Esta situação, é devido as solicitações de projetos estarem diretamente ligadas as emissões, na qual está embutida a proposta da área, que é atender o mais breve possível as necessidades da UHI. Logo, quanto mais solicitações menos projetos no “estoque” (variável de NÍVEL). Assim, como pode ser notado no gráfico da Figura 5.1, entre os meses 6 e 18, aumenta-se as solicitações e diminui o número de projetos, enquanto que, entre os meses 16 a 30, a situação se inverte, menos solicitações mais projetos. Pode-se notar também no gráfico, que as solicitações se apresentam conforme estabelecido, aumentando 15% após seis meses e diminuindo 20% no décimo oitavo mês.

**Figura 5.1 – Verificação do Modo de Referência**

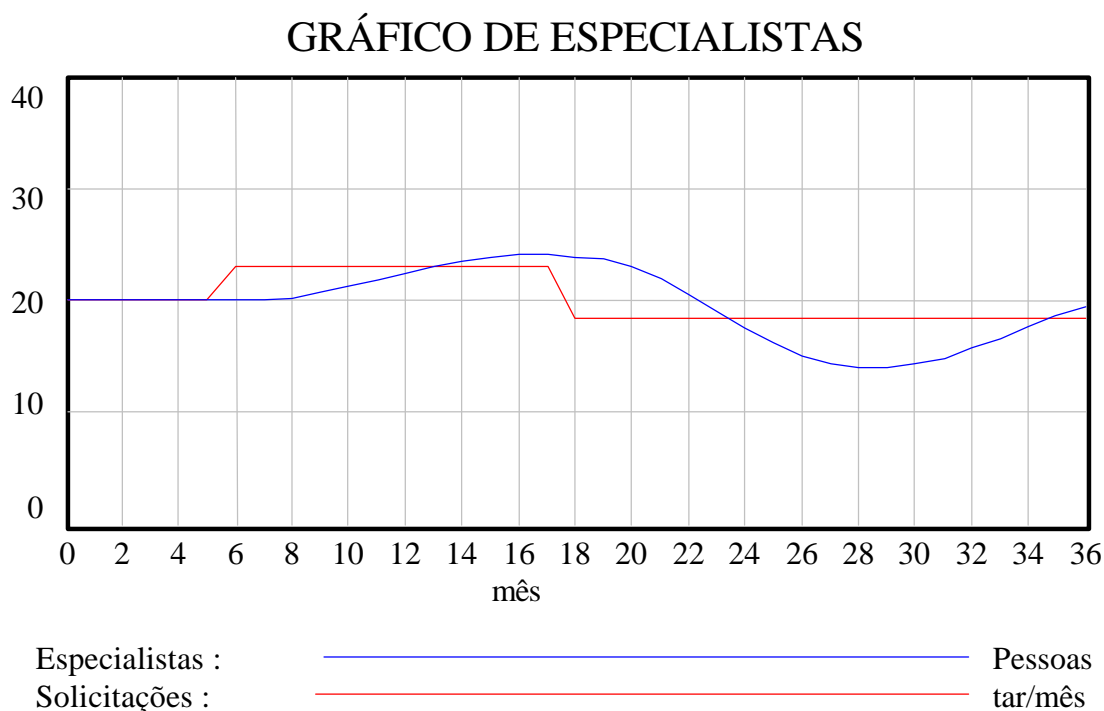


Assim nesta primeira análise, ao se comparar com o caráter real, onde mais uma vez entra a experiência do modelador na área analisada, a confiança no modelo é aumentada.

A partir desta primeira simulação parte-se então, para as demais simulações e captar as informações necessárias às tomadas de decisões.

Como a dúvida esta no dimensionamento da equipe de produção, é necessário então, fazer uma análise neste caso, direcionada a variável "**Especialistas**". Assim sendo, tem-se na Figura 5.2, o gráfico onde mostra uma necessidade de variação da equipe, para acompanhar a demanda de serviços. Isto demonstra que serão necessárias algumas mudanças no quadro pessoal.

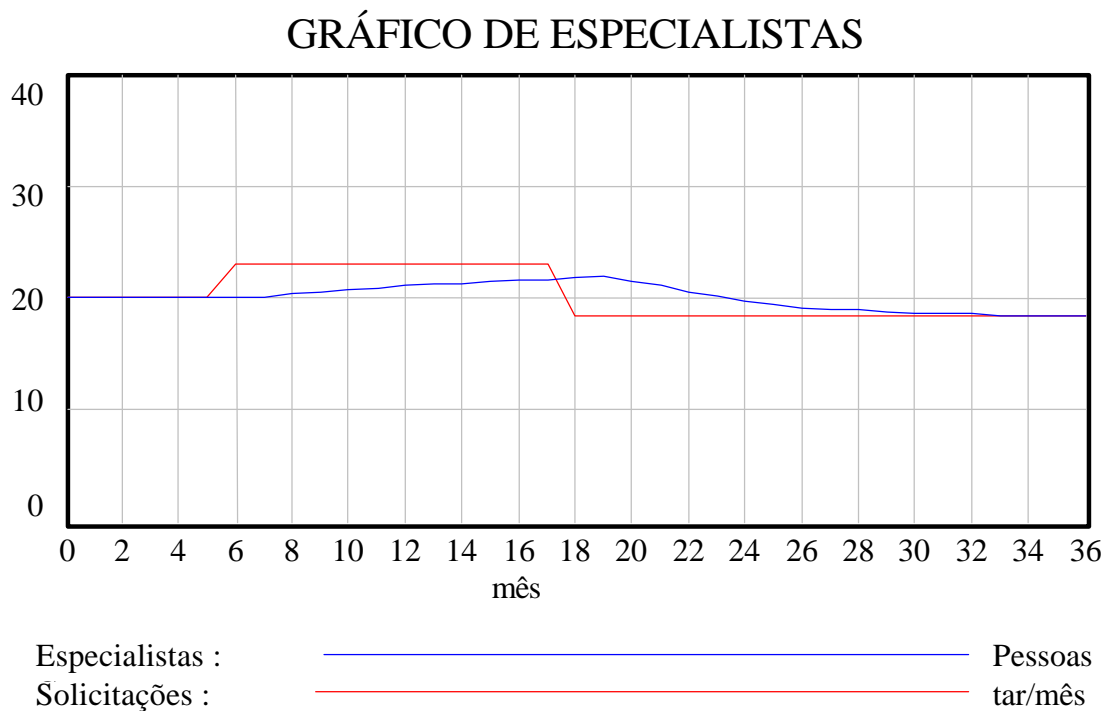
**Figura 5.2 – Gráfico da “Especialistas” sem aplicação da estratégia política**



A decisão a ser tomada neste caso, a princípio, seria dar início a contratação de mais 3 especialistas no mesmo nível dos demais. Para após aproximadamente 12 meses demiti-los. Esta situação gera um desconforto e um aumento nos gastos da Empresa, por isso a simulação, na mesma situação, da aplicação da jornada flexível se faz necessária para a justificativa da defesa da estratégia sugerida.

A Figura 5.3 então, apresenta a variável “*Especialistas*” rodada sob as condições de jornada flexível. Considerando-se 40 horas semanais, com a flexibilidade de 36 horas mínimas e 50 horas máximas, conforme função “*Tabela*” mostrado na Figura 4.13 item 4.2.8.

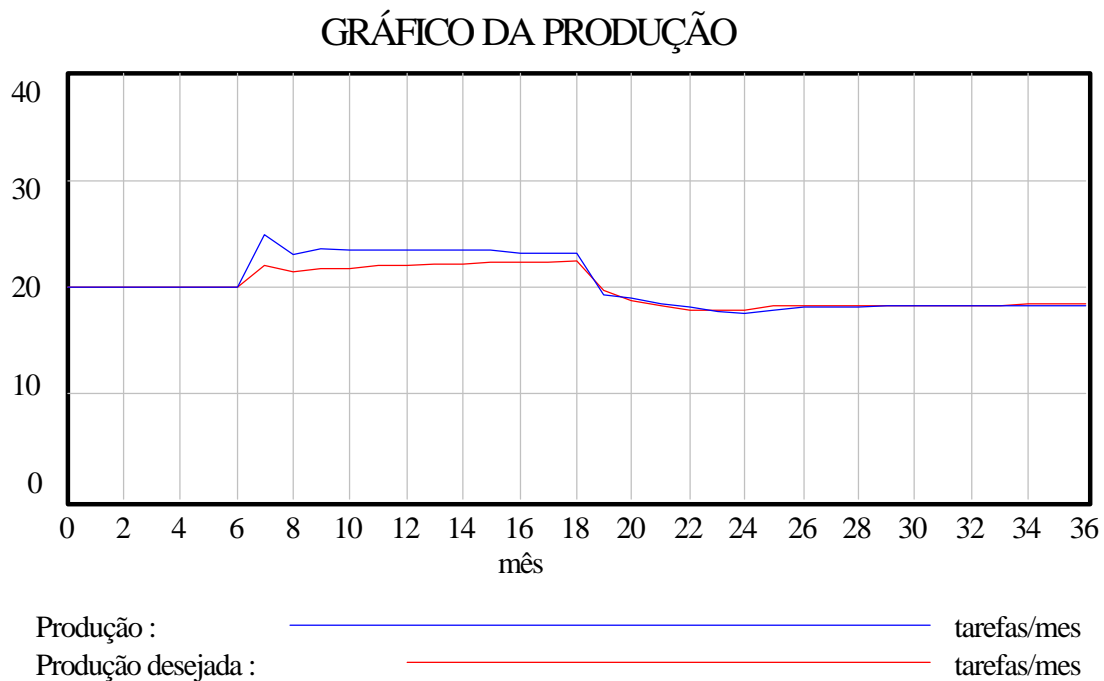
**Figura 5.3 – Gráfico “Especialistas” com aplicação da estratégia política**



Verifica-se agora, não mais a necessidade de contratações, isto se deve ao fato da estratégia de horário móvel, além de aumentar o comprometimento do funcionário com a empresa, aproximar a **“Produção”** normal da **“Produção desejada”**. O que demonstra o alcance dos objetivos do setor, sem que sejam necessárias medidas de futuro anti-social com demissões já previstas.

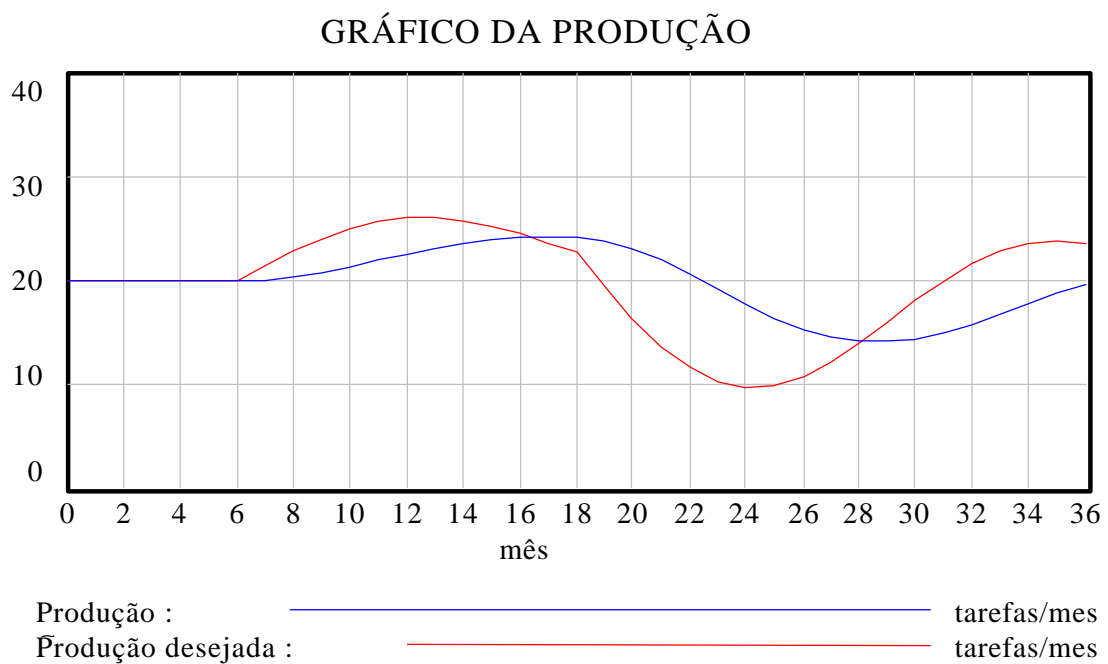
A Figura 5.4 apresenta a simulação da **“Produção”** e **“Produção desejada”**. Onde pode-se observar a produção real suprindo a produção desejada. Pois, com a flexibilidade fornecida, o especialista pode trabalhar mais horas criando um “credito” e ao mesmo tempo, atender as necessidades da empresa em situações atípicas. Isto vem a satisfazer os interesses, tanto da produção, quanto do especialista.

**Figura 5.4 – Gráfico da “Produção” com aplicação da estratégia política**



Como verificação, a Figura 5.5 apresenta a simulação da “Produção” sem a aplicação da estratégia mostrando a defasagem entre as produções.

**Figura 5.5 – Gráfico da “Produção” sem aplicação da estratégia política**



### 5.1.2 Validação do Modelo

Neste trabalho, devido ao modelador ter experiência na área de projetos de engenharia e conhecer a dinâmica do sistema estudado, não houve tantos problemas de ajustes dos parâmetros (os parâmetros não refletiram discrepâncias na simulação do modelo), por isso a validação se realizou sem muitos percalços.

Assim sendo, aplicou-se conforme Shreckengost (1985), dois tipos principais de testes. O primeiro, o teste de validação do modelo, foi para verificar se a estrutura do modelo estava compatível com a estrutura do sistema que foi modelado. Então, verificou-se que todos os elementos considerados no modelo refletem o mundo real, e todo fato importante no sistema real foi refletido no modelo. Para o segundo teste, comparou-se o comportamento do modelo, com o comportamento do sistema modelado. Depois utilizou-se dados de série de tempo históricos disponíveis, em que o modelo foi capaz de produzir dados semelhantes.

Outros testes considerados na validação, para dar maior credibilidade ao modelo, foram os de sensibilidade e predição de comportamento: conforme o item 5.3.7., mudanças pequenas e razoáveis no valor dos parâmetros do modelo, não produziram mudanças de comportamentos radicais; em seguida, conforme item 5.3.8, verificou-se como o sistema se comportaria se fosse implementada uma política de interesse.

E como último teste, denominado teste do membro familiar, este fica como sugestão do trabalho. Conforme Shreckengost (1985), modelos de simulação dinâmicos adquirem valor agregado e confiança quando eles são genéricos, por exemplo, quando é aplicável a uma família de situações semelhantes, como no caso de aplicação em outros setores de produção. Outras áreas têm características básicas comuns, assim pode ser planejada uma maneira para que o modelo básico apresente estas características comuns. O mesmo fica sendo verdadeiro para outras áreas distintas, tais como, Financeira, Recursos Humanos, setor de passagens, entre outras.

Sob estas condições, a confiança é aumentada não só porque os sistemas complementares podem contribuir com à robustez do modelo desenvolvido para a área de engenharia de projetos da UHI, mas também porque as diferenças entre os membros, podem ser explicitamente identificadas e definidas.

Comparando-se também, o desenvolvimento dos testes utilizados neste trabalho com opiniões que muitos testes geralmente associados como provas de modelo são impróprios, inadequados ou não funcionam, conclui-se que isto deriva da filosofia que está sob o método de modelar através da “Dinâmica de Sistemas”. Particularmente, a noção de que todos os fatores importantes na realidade exercem uma influência no comportamento do sistema, maior do que aparecem no modelo, que normalmente são modelados ou não. Exceto isso, todos os fatores no modelo devem ter uma contra parte no sistema real. Junto

com o dinâmico, em lugar de estático, estas características trocam ênfase de testes mais tradicionais, estatísticos, para os testes descritos neste trabalho.

## **5.2 Considerações finais**

A análise apresentada nesta parte demonstra que, através do enfoque baseado na técnica “Dinâmica de Sistemas”, é possível construir modelos de simulação para a área de engenharia de projetos de uma usina hidrelétrica, adequados para o uso em planejamentos e análises para apoio a decisões gerenciais.

Após a análise de sensibilidade simples e com aplicação da estratégia política permite concluir que o modelo criado para a Divisão de Engenharia Eletromecânica (ENEE.DT) é consistente e robusto.



## **CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

Neste trabalho de pesquisa, partiu-se de um problema gerencial de controle, para a busca de uma solução que se aplicasse, não só, ao ambiente analisado, mas que também pudesse ser utilizada em outras situações. A solução encontrada foi via modelos de simulação e, devido a situação apresentar uma característica dinâmica, apontou-se para a técnica “Dinâmica de Sistemas”. Esta característica embora sendo um fator inicial, não foi o predominante, mas sim, as demais vantagens encontradas e descritas no trabalho que contribuíram para a escolha dessa técnica.

### **6.1 Conclusões**

Tendo em vista que o objetivo geral deste trabalho é instrumentar gestores da área de projetos de engenharia com uma ferramenta de apoio às suas decisões. A técnica de simulação apresentada, mostra uma visão real da dinâmica do sistema modelado, além de proporcionar na construção do seu modelo um elevado grau de conhecimento aos seus modeladores sobre os problemas que envolvem a área.

Como conclusão inicial, o trabalho demonstra que através do enfoque baseado em “Dinâmica de Sistemas”, é possível construir modelos representativos de sistemas de produção na área de projetos de engenharia, adequados para uso como apoio às decisões gerenciais, atendendo satisfatoriamente aos objetivos traçados. Este objetivo é alcançado, através da criação do modelo de simulação pois é possível o estabelecimento dos

parâmetros e critérios que regem a dinâmica dessa área. Embora para isso, requeira uma dedicação na sua análise aliada a uma boa experiência na área.

A “análise de sensibilidade” e o “teste de aplicação de políticas empresariais” além de, darem oportunidade para um conhecimento melhor do comportamento dinâmico da área analisada, permitem concluir que o modelo elaborado é consistente e robusto.

Finalmente, com a realização de simulações computacionais, que demonstrou ser muito simples, em conseqüência adequado, conclui-se que a técnica “Dinâmica de Sistemas” é uma contribuição importante para apoio dos responsáveis por tomadas de decisões, e que com testes de políticas empresariais mais simples ou mais complexas, do que o exemplo apresentado neste trabalho, gestores podem convencer e serem convencidos, das melhores decisões a serem tomadas.

Quanto a política de utilização de “horário flexível”, sugerida neste trabalho, apesar de não mais ser considerada como um benefício extra e de muitas empresas já a colocarem em prática. Conclui-se que, pelo demonstrado nas simulações dinâmicas da área de engenharia de projetos, ser uma ferramenta estratégica, para bons resultados. Entretanto deve ser empregada corretamente, com regras claras e precisas, para atingir o seu objetivo, melhorar a produtividade e a qualidade de vida dos funcionários.

## 6.2 Recomendações

Como descrito nos testes de validação, para se adquirir mais confiança no modelo construído neste trabalho, recomenda-se a sua utilização para a consideração de situações similares em outra áreas. Pois, sua aplicação num outro sistema é aparentemente muito simples; o único fator complicador é o estabelecimento das regras de atuação o qual fica facilitado pela criatividade do modelador. Além disso, a criação de um novo modelo ou a ampliação para melhora deste, deve ser encarada como um desafio que certamente trará um benefício próprio, pois a aplicação da técnica “Dinâmica de Sistemas” vem tendo uma grande utilidade no cotidiano.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se também a utilização das ferramentas apresentadas, em áreas onde se presenciaram comportamentos dinâmicos, tais como: sistemas hidrelétricos; sistemas ecológicos; sistemas financeiros; sistemas de prestação de serviços, entre outros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARNOLD, Marcelo, OSORIO, Francisco, M.A. “Introducción a los Conceptos Básicos de la Teoría General de Sistemas”. Cinta de Moebio N. 3. Abr. 1998. Facultad de Ciencias Sociales. Universidad del Chile. <http://rehue.csociales.uchile.cl/publicaciones/moebio/03/frames45.htm>  
Acesso em: 22 jun. 2001.

AGATSTEIN, Kevin, BREIEROVA, Lucia. “Graphical Integration Exercises – Part 2: Ramp Functions”. Road Maps 3, MIT System Dynamics in Education Project. March 1996. <http://www.sysdyn.mit>> Acesso em: 12 nov. 2000.

AGATSTEIN, Kevin, BREIEROVA, Lucia. “Graphical Integration Exercises – Part 3: Combining Flows”. Road Maps 3, MIT System Dynamics in Education Project. March 1996. <http://www.sysdyn.mit>> Acesso em: 12 nov. 2000.

ALBIN, Stephanie, CHOUDHARI, Mark. “Generic Structures: First-Order Positive Feedback”. Road Maps 4, MIT System Dynamics in Education Project. March 1996. <http://www.sysdyn.mit>> Acesso em: 12 nov. 2000.

ALBIN, Stephanie. “Generic Structures: First-Order Negative Feedback”. Road Maps 4, MIT System Dynamics in Education Project. September 1996. <http://www.sysdyn.mit>> Acesso em: 12 nov. 2000.

ALBIN, Stephanie. “Building a System Dynamics Model – Part 1: Conceptualization”. Road Maps 8, MIT System Dynamics in Education Project. June 1997. <http://www.sysdyn.mit>> Acesso em: 12 nov. 2000.

BREIEROVA, Lucia, CHOUDHARI, Mark “An Introduction to Sensitivity Analysis”. Road Maps 8, MIT System Dynamics in Education Project. September 1996. <http://www.sysdyn.mit>> Acesso em: 12 nov. 2000.

BREIEROVA, Lucia. “Mistakes and Misunderstanding; Use of Generic Structures and the Reality of stocks and Flows”. Road Maps 8, MIT System Dynamics in Education Project. December 1996. <http://www.sysdyn.mit>> Acesso em: 12 nov. 2000.

BREIEROVA, Lucia. “Generic Structures: Overshoot and Collapse”. Road Maps 9, MIT System Dynamics in Education Project. July 1997. <http://www.sysdyn.mit>> Acesso em: 12 nov. 2000.

CARDOZO, Carlos M. F. “Operação de Sistemas Hidroelétricos em Ambiente Competitivo: Uma abordagem da gestão empresarial via Simulação Estocástica e Dinâmica de Sistemas” ; Tese de Doutorado, CPGEE/UFSC Florianópolis, 2000.

CHUNG, Celeste V. “Generic Structures in Oscillating Systems I”. Road Maps

6, MIT System Dynamics in Education Project. June 1994. <<http://www.sysdyn.mit>> Acesso em: 12 nov. 2000.

DUHON, Terri, GLICK, Marc. "Generic Structures: S-Shaped Growth I". Road Maps 5, MIT System Dynamics in Education Project. August 1994. <<http://www.sysdyn.mit>> Acesso em: 12 nov. 2000.

FORD, Andrew.; "Modeling the Environment"; Island Press; 1999.

FORRESTER Jay W. "Industrial Dynamics; The MIT Press; 1961.

FORRESTER Jay W. "Industrial Dynamics", Management Science, 14, No, 7; May 1968.

FORRESTER Jay W. "Urban Dynamics" The MIT Press; 1969.

FORRESTER Jay W. "Counterintuitive Behavior of Social Systems", Road Maps 1, MIT System Dynamics in Education Project. 1971 atualizado em march 1995. <<http://www.sysdyn.mit>> Acesso em: 12 nov. 2000.

FORRESTER Jay W. "The Beginning of Systems Dynamics", International Meeting of the System Dynamics Society; July 1989. <<http://www.sysdyn.mit>> Acesso em: 12 nov. 2000.

FORRESTER Jay W. "System Dynamics, System Thinking and soft OR", Road Maps 7, System Dynamics Group, Sloan School Management, MIT, August 1992. <<http://www.sysdyn.mit>> Acesso em: 12 nov. 2000.

FORRESTER Jay W. "System Dynamics and Learner-Centered-Learning in Kindergarten Through 12 th Grade", System Dynamics Group, Sloan School Management, MIT, December 1993, 20pp. <<http://www.sysdyn.mit>> Acesso em: 12 nov. 2000.

FORRESTER Jay W. "Learning through System Dynamics as Preparation for the 21 st Century", Sloan School Management, MIT, 1994. <<http://www.sysdyn.mit>> Acesso em: 12 nov. 2000.

FORRESTER Jay W. "System Dynamics and K-12 Teachers", a lecture at the University of Virginia School of Education, 1996. <<http://www.sysdyn.mit>> Acesso em: 12 nov. 2000.

FORRESTER Jay W. "Designing the Future", presented at the University of Seville, Spanish, 1998. <<http://www.sysdyn.mit>> Acesso em: 12 nov. 2000.

GARCÍA, Juan M. "Curso de Especialización en Dinámica de Sistemas"; Unversitat Politècnica de Catalunya, 2001.

INTERNACIONAL SOCIETY FOR THE SYSTEMS SCIENCE. [online].

Disponível na Internet <URL: <http://www.iss.org>> Acesso em: 05 out. 2000.

MARTIN, L. A.; "Mistakes and Misunderstandings: Table Functions". Road Maps 9, MIT System Dynamics in Education Project. July 1997. <<http://www.sysdyn.mit>> Acesso em: 12 nov. 2000.

MARTIN, L. A.; "The First Step". Road Maps 2, MIT System Dynamics in Education Project. July 1997. <<http://www.sysdyn.mit>> Acesso em: 12 nov. 2000.

MARTIN, L. A.; "Beginner Modeling Exercises ". Road Maps 2, MIT System Dynamics in Education Project. September 1997. <<http://www.sysdyn.mit>> Acesso em: 12 nov. 2000.

MARTIN, L. A.; "Introduction to Feedback". Road Maps 2, MIT System Dynamics in Education Project. October 1997. <<http://www.sysdyn.mit>> Acesso em: 12 nov. 2000.

MARTÍNEZ, S., REQUENA, A.; "Dinamica de Sistemas: vol.1 - Simulacion por ordenador; vol. 2 – Modelos". Alianza Editorial, Madrid, 1986.

MEADOWS D.H., MEADOWS D.L., RANDERS J., BEHRENS W.W. III; "The Limits to Growth"; Universe Books, New York, 1972.

MEADOWS D.H.; "Systems Dynamics Meets the Press"; The Global Citizen, pp. 1-12, Washington, DC, Island Press, 1991. <<http://www.sysdyn.mit>> Acesso em: 12 nov. 2000.

MOHAPATRA, P.K.J., MANDAL, P. E., BORA M.C. "Introduction to System Dynamics Modeling", Universities Press (India) Limited, 1994.

MOROZOWSKI, Marciano F.; CARDOZO, Carlos M. F.; "A System Dynamics Based Strategic Planning Model for Hydroelectric System"; 15<sup>th</sup> International System Dynamics Conference; Istanbul, Turkey: August 1997.

MOROZOWSKI, Marciano F.; CARDOZO, Carlos M. F.; "Hydrosystem Operation in Competitive Market: A System Dynamic Approach"; 16<sup>th</sup> International Conference of the System Dynamic Society; Quebec, Canada: July 1998.

MOROZOWSKI, Marciano F.; CARDOZO, Carlos M. F.; "Hydrosystem Operation in Competitive Market: Strategic Planning by System Dynamics Simulation"; 16<sup>th</sup> Indian International System Dynamic Conference; Kharangpur, India: December 1998.

NAILL, R. "A System Dynamics Model for National Energy Policy and Planning"; System Dynamics Review 8, p.p. 1-19, 1992.

OH, A.; “Graphical Integration Exercises – Part one: Exogenous Rates”. Road Maps 2, MIT System Dynamics in Education Project. December 1995. <<http://www.sysdyn.mit>> Acesso em: 12 nov. 2000.

PIDD, M.; “Modelagem Empresarial – ferramentas para tomada de decisão”; Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

POWERSIM 2.5, “User’s Guide”; Powersim Press; 1996.

PUGH A. L. III; “Dynamo User’s Manual”; M.I.T. Press; Cambridge, Mass.; 1963.

REZENDE, Denis A.; ABREU, Aline F.; “Tecnologia da Informação – aplicada a sistemas de informação empresariais”. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2000.

RADZICKI, Michael J.; “Introduction to System Dynamics, version 1.0: a systems approach to understanding complex policy issues”. 1997. <<http://www.albany.edu/cpr/sds/DL-IntroSysDyn/intro.htm>> Acesso em: 23 abr. 2001.

REPENNING, Nelson; “Formulating Models of Simple Systems using Vensim PLE, version 3.0B” ; MIT Sloan School of Management – System Dynamics Group. Massachusetts, 1998.

SENGE, Peter M.; “A Quinta Disciplina – arte, teoria e prática da organização de aprendizagem”. São Paulo: Best Seller, 1990.

SHERECKENGOST, Raymond C. “Dynamic Simulation Models: How valid are they?”. Road Maps “5, MIT System Dynamics in Education Project. 1985. <<http://www.sysdyn.mit>> Acesso em: 12 nov. 2000.

SHARP J.A.; PRICE D.H.R.; “System Dynamics and Operational Research: An Appraisal”; European Journal of Operational Research, 16 (1984) 1-12.

SHAYNE, Michael G. “Mistakes and Misunderstandings: Examining Dimensional Inconsistency”. Road Maps 7, MIT System Dynamics in Education Project. January 1992. <<http://www.sysdyn.mit>> Acesso em: 12 nov. 2000.

STANLEY, Laughton; “Graphical Integration Exercises – Part 4: Reverse Graphical Integration”. Road Maps 7, MIT System Dynamics in Education Project. August 1996. <<http://www.sysdyn.mit>> Acesso em: 12 nov. 2000.

STERMAN, John D. “A Skeptic’s Guide to Computer Models” . Road Maps 9, MIT System Dynamics in Education Project. 1988. <<http://www.sysdyn.mit>> Acesso em: 12 nov. 2000.

SYSTEM DYNAMICS IN EDUCATION PROJECT. “ Road Maps - A Guide to Learning Systems Dynamics”; MIT Sloan School of Management – System

Dynamics Group. Massachusetts. <<http://www.sysdyn.mit>> Acesso em: 12 nov. 2000.

WHELAN, J.G.; "Beginner Modeling Exercises – Section 2 – Mental simulation of simple positive feedback". Road Maps 3, MIT System Dynamics in Education Project. March 1996. <<http://www.sysdyn.mit>> Acesso em: 12 nov. 2000.

ZHU, H.; "Beginner Modeling Exercises – Section 3 – Mental simulation of simple negative feedback". Road Maps 3, MIT System Dynamics in Education Project. March 1996. <<http://www.sysdyn.mit>> Acesso em: 12 nov. 2000.



## **ANEXOS**

Esta ultima parte, guardadas as devidas restrições que o objetivo do trabalho impõe, fornece informações complementares sobre a técnica “Dinâmica de Sistemas”. Estas informações são considerações introdutórias, julgadas importantes para o desenvolvimento do conhecimento sobre a técnica “Dinâmica de Sistemas”.

### **Softwares para Modelar em Dinâmica de Sistemas**

Os softwares de Dinâmica de Sistemas proporcionam o meio para definição e simulação dos modelos. Existem no mercado vários softwares, que não requerem conhecimentos de informática para sua utilização e que se adaptam perfeitamente as necessidade dos usuários. Por exemplo, pode-se citar o Dynamo, o Powersim , o Stella e o Vensim. Neste trabalho utiliza-se o software Vensim PLE na versão 4.2 para uso educacional, mas não descarta a utilização de qualquer um dos outros para a mesma finalidade. Na seqüência apresenta-se uma breve descrição a respeito de cada um deles.

#### **Dynamo**

O Dynamo propriamente dito foi criado pelo Dr. Phyllis Fox (Mrs. George Sternlieb) e Mr. Alexander L. Pugh, III, assistido por Mrs. Grace Duren e Mr. David J. Howard. A Figura A.1 mostra como cada equação em Dynamo inicia com uma letra para indicar o tipo de variável associada. Assim:

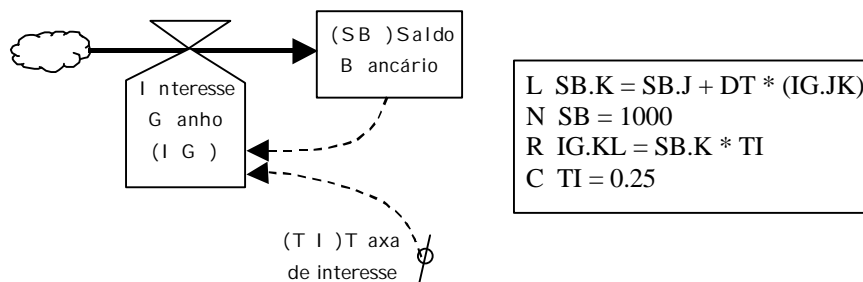
L para uma variável de nível.

N para um valor inicial de uma variável de nível.

R para uma variável de taxa.

C para uma constante.

**Figura A.1 – Diagrama e equações com o Dynamo**

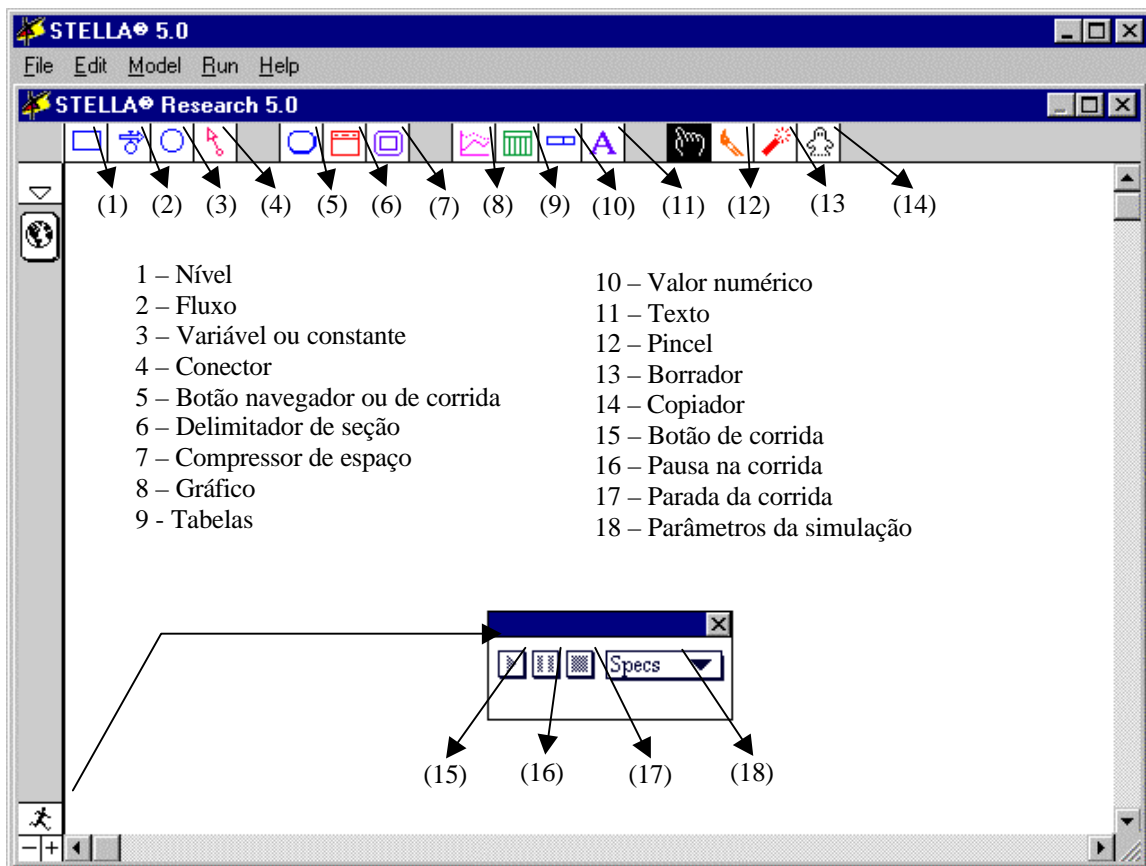


O Dynamo pode ser utilizado para construir e testar qualquer tipo de modelos de Dinâmica de Sistemas, embora hoje se tenha uma certa preferência por utilizar softwares que representam explicitamente os estoques e fluxos, porém ainda existem muitos livros que se utilizam desta nomenclatura.

## Stella

A melhor forma de aprender o Stella, segundo Ford (1999) é no computador. Para ilustrar, a Figura A.2 apresenta a tela que fornece o menu de objetos para a construção de modelos de “Dinâmica de Sistemas”.

Figura A.2 – Tela inicial do Stella



Fonte: CARDOZO (2000)

Para aplicação da metodologia “Dinâmica de Sistemas”, os softwares de uma maneira geral estão evoluindo muito rapidamente, por isso, uma desvantagem aqui citada, pode ser que na versão superior já esteja implementada. Mesmo assim, como principal desvantagem do Stella, na versão verificada, pode-se citar a impossibilidade de elaborar modelos compilados ou executáveis. Ou seja o usuário deve sempre dispor do programa para rodar um determinado modelo.

Por outro lado, para citar vantagens, por exemplo, com relação ao Powersim, pode-se citar a possibilidade de dispor de gráficos adequados para

análise de sensibilidade. Outra vantagem, conforme Cardozo (2000), em relação tanto ao Powersim como Vensim, é a separação entre os dois ambientes de programação, do ambiente que contém os diagramas de estoque e fluxo e do que contém os quadros de controle.

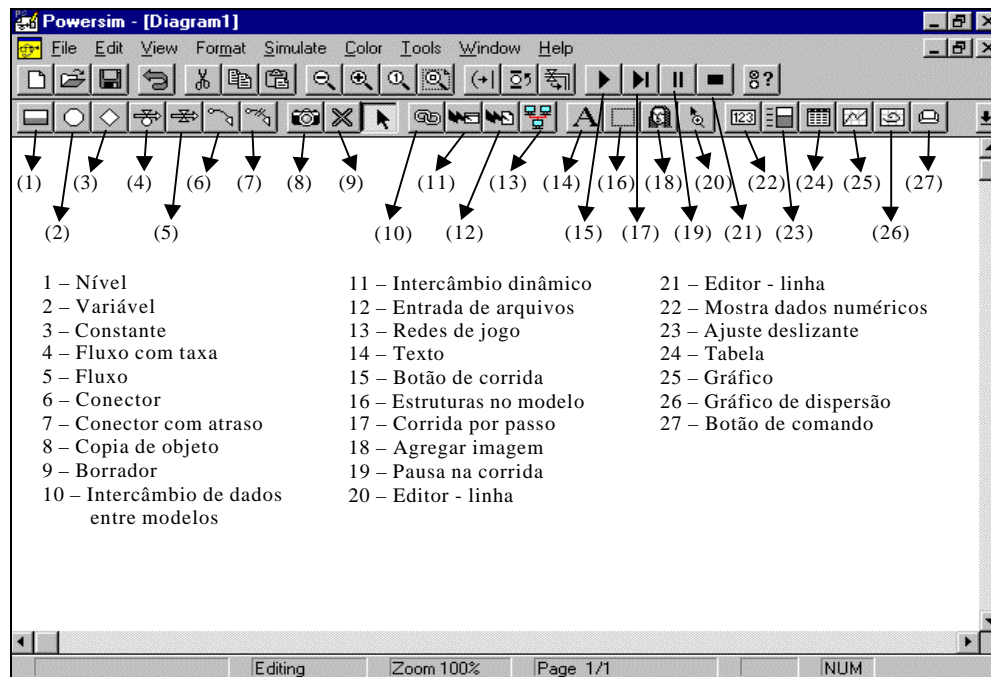
### **Powersim**

Similar ao Stella e ao Vensim, o Powersim proporciona um ambiente editor de diagrama para a construção de modelos, na qual as variáveis são apresentadas em forma de objetos gráficos e as ligações representam a relação entre as variáveis interligadas.

No Powersim, o ambiente editor de diagramas permite a construção de modelos através do auxílio de diferentes objetos. A Figura A.3 apresenta este ambiente com a denominação dos seus principais objetos.

O processo de construção dos modelos, assim como o de definição das variáveis no Powersim é muito similar com o Stella, inclusive o do simulador de estratégias. O Simulador pode ser construído no mesmo ambiente editor de diagramas e depois separado através dos menus que permitem estruturar o modelo.

**Figura A.3 – Tela inicial do Powersim**



Fonte: CARDOZO (2000)

Comparadas com o Stella e Vensim, as versões atuais do Powersim possuem, duas importantes desvantagens, a primeira está relacionada à impossibilidade de ter representações de estudos de sensibilidade num mesmo gráfico; e a segunda, é que roda somente em computadores compatíveis com IBM ou com o sistema operativo Windows.

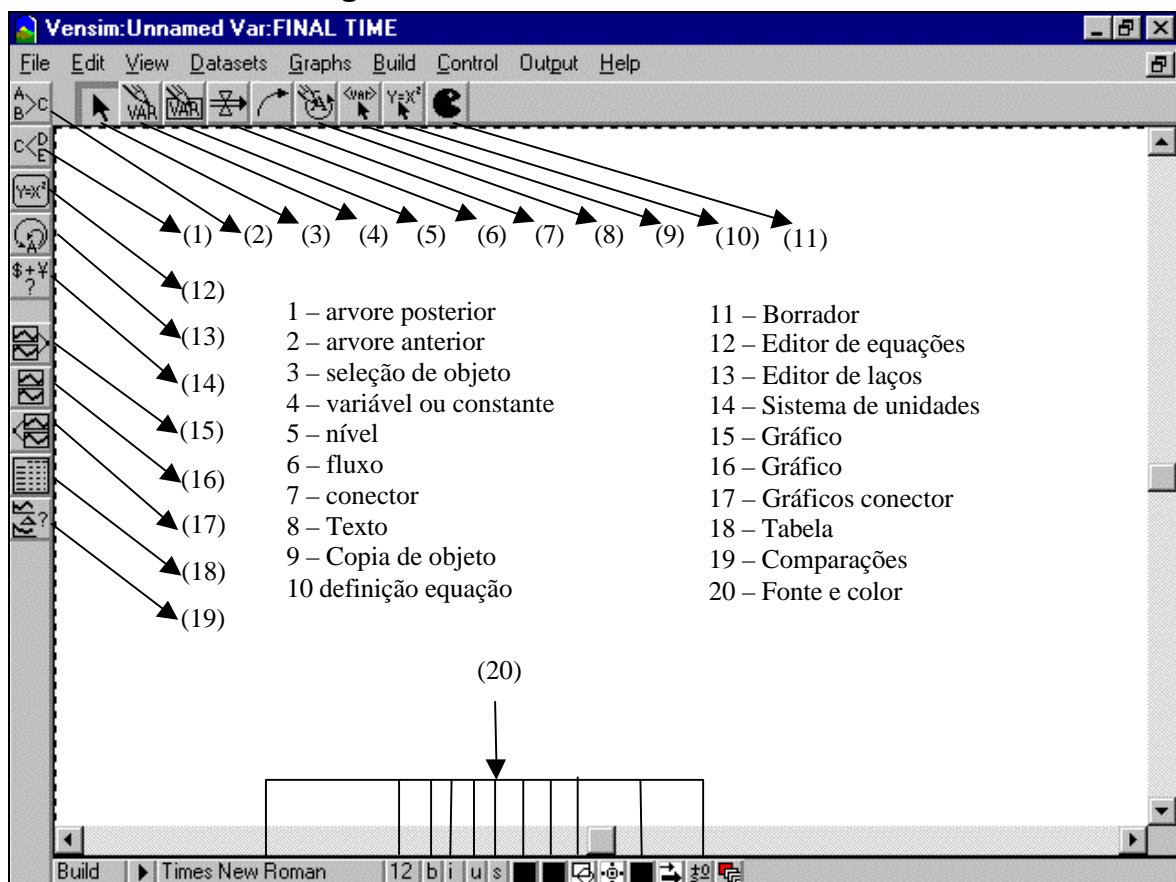
A pesar destas desvantagens, o Powersim possui outras excelentes vantagens. Por exemplo: seus intercâmbios dinâmicos de dados permitem a realização de jogos simultâneos em diferentes computadores; seu aplicativo adicional permite a formação de programas executáveis; seu editor de linhas permite a construção de modelos de diagramas de laços causais; etc.

## Vensim

O Vensim é um software que permite, assim como o Stella e Powersim, construir e testar modelos de Dinâmica de Sistemas. Ele foi criado por Ventana Systems, Inc. para apoiar seus trabalhos de consultoria.

A Figura A.4 apresenta a tela do Vensim, logo de início se observa alguns objetos ainda não mostrados nos softwares anteriores, por exemplo: as árvores anteriores e posteriores, estas árvores são muito úteis para verificar as variáveis que afetam ou as afetadas dentro de uma determinada cadeia de variáveis.

**Figura A.4 – Tela inicial do Vensim**



Fonte: CARDOZO (2000)

Um segundo objeto muito útil deste ambiente é o que lista todos os laços contidos no modelo, na medida que o modelo se torna mais complexo, esta facilidade vai adquirindo maior importância para o projetista.

Outro objeto muito utilizado pelo projetista é o que permite mostrar comparações entre diferentes corridas. Igualmente, ao objeto que permite verificar a compatibilidade entre as unidades das distintas variáveis.

Um ponto a se ter em conta para acelerar a elaboração de um modelo, é que no Vensim, ao selecionar um determinado objeto de construção de modelo, ele permanece ativo até que se cancele a seleção. Por exemplo, ao selecionar o objeto “nível”, ele permitirá introduzir níveis a cada “click” no mouse.

A definição das variáveis no Vensim segue o processo similar ao Stella e ao Powersim. Porém, o formato das equações do Vensim é bastante diferente do formato do Stella e Powersim. O Vensim não mostra a variação no tempo, e usa INTEG na equação do Nível. O INTEG lembra que o valor do estoque é achado por integração do efeito do fluxo no tempo.

Como a possível maior vantagem do Vensim com relação principalmente ao Powersim e ao Stella em menor grau, é o seu teste de sensibilidade. Com uma simples definição pode-se realizar o número de análises desejado. Por exemplo, para se realizar 100 análises de sensibilidade, define-se o número e proporciona-se a variação entre corridas e o programa completa as 100 simulações com um único comando. Lembra-se que na versão utilizada neste

trabalho não está disponível esta vantagem. A outra vantagem com relação ao Stella é que o Vensim também proporciona a elaboração modelos executáveis.

Como desvantagem pode-se citar sua aparente dificuldade inicial em trabalhar no programa, entretanto isto é rapidamente superado pelas vantagens adicionais que software proporciona ao projetista avançado.

### **Construção de Modelos com o VENSIM PLE**

Para construir o modelo de simulação, primeiro instala-se o software VENSIM PLE disponível na Internet e depois, acompanha-se passo a passo as seguintes instruções:

- acessar a página <http://www.vensim.com/freedownload.htm> na Internet e baixar o software Vensim PLE;
- instalar o software, seguindo as instruções contidas no arquivo Venple32.exe;
- pulsar sobre o ícone Vensim PLE para iniciar.

### **Como criar o modelo para a engenharia de projetos**


Para a criação do modelo apresentado neste trabalho acompanhou-se as seguintes etapas de construção do modelo.




Iniciar:

- teclar File>New Model na tela inicial;
- inserir os valores para INITIAL TIME, FINAL TIME, TIME STEP e pulsar "OK".

Inserir as variáveis de NÍVEL "Projetos" e "Especialistas":


- pulsar o ícone 
- levar o cursor até a área do desenho (até o centro) e pulsar uma vez;
- escrever o nome "Projetos" dentro do quadro e pulsar Enter;
- fazer o mesmo para "Especialistas".

Inserir as variáveis de FLUXO:


- pulsar o ícone 
- levar o cursor até a área de desenho (à esquerda) e pulsar uma vez;
- mover o cursor até **dentro** do retângulo de "Projetos" e pulsar. Aparece um quadro onde deve-se digitar "Produção" e em seguida "Enter";
- repetir para criar o fluxo "Emissão". Da mesma maneira cria-se os

fluxos “admissão” e “demissão” da variável de NIVEL “Especialistas”.

Inserir as variáveis AUXILIARES:

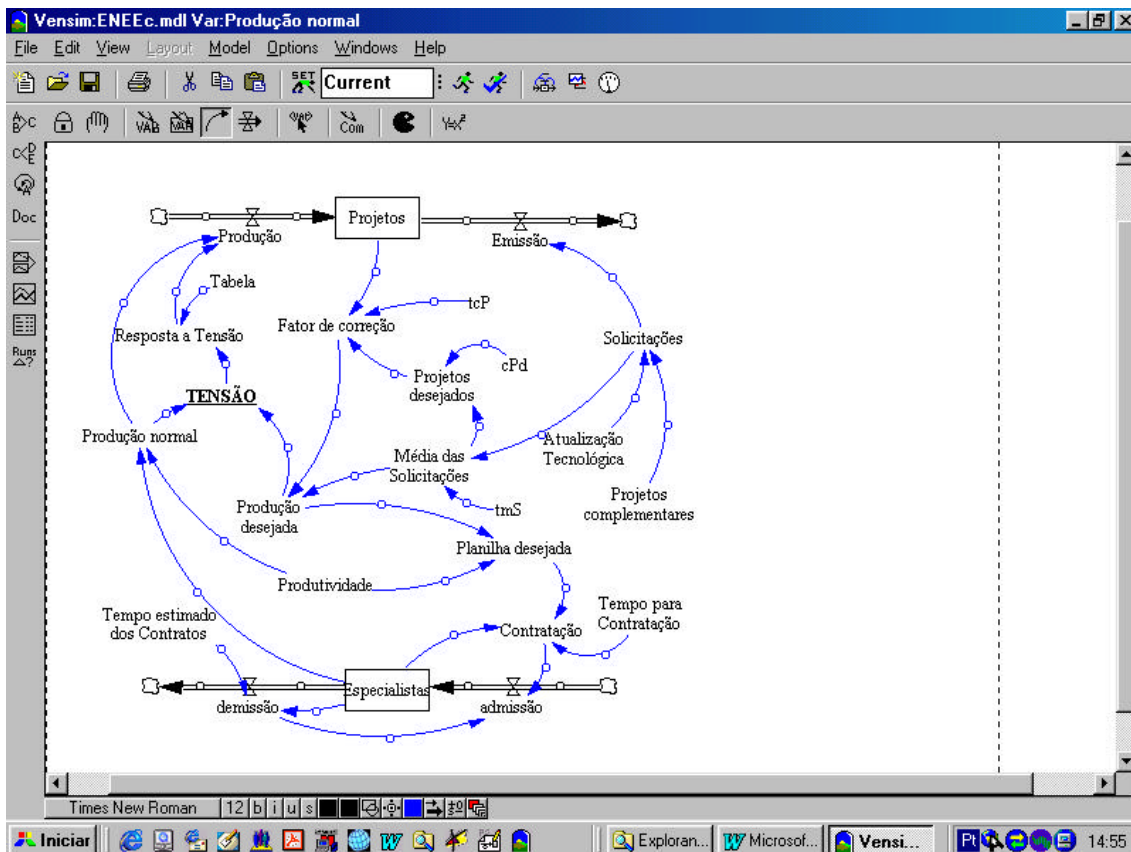
- pulsar o ícone .
- levar o cursor a área de desenho (abaixo de “Produção”) e pulsar uma vez;
- escrever "Produção normal" dentro do retângulo e aplicar Enter;
- repetir para as demais variáveis.

Inserir as relações (flechas) :


- pulsar o ícone .
- levar o cursor até a área de desenho. Situa-lo com a ponta da flecha sobre a "Produção normal" e pulsar. Deslocá-lo até "Produção" e voltar a pulsar;
- repetir com todas as variáveis que se relacionem entre si;
- pulsar no pequeno círculo que aparece em cada flecha e deslocar um pouco para dar forma curvada à flecha.

A Figura A.5 apresenta a tela, após esse estágio de construção do modelo.

**Figura A.5 – Construção do modelo da engenharia de projetos**



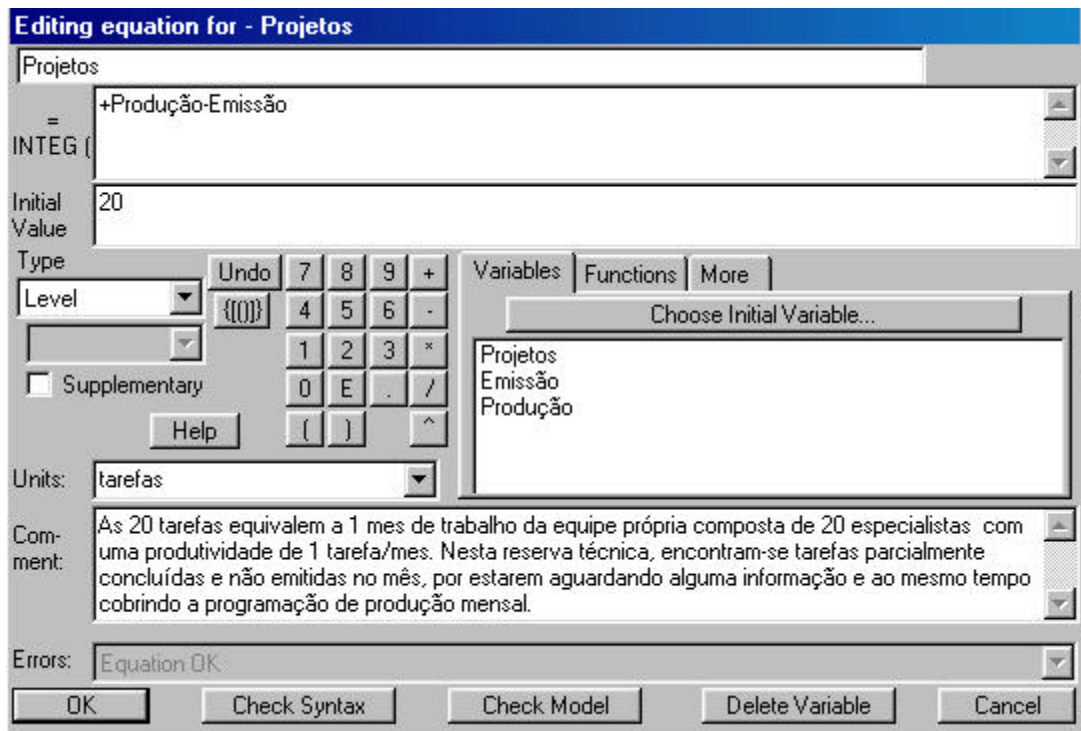
Inserir as Equações :

- pulsar o ícone . Ficam em negro todas as inscrições;
- pulsar a variável "Projetos". A Figura A.6 mostra a tela que se abre, colocar o "Initial value" indicar 20, logo após aplicar "OK".
- pulsar a variável "Produção". Na nova tela, selecionar as variáveis e

equacioná-las conforme mostrado no item A.4., logo após aplicar “OK”.

- fazer o mesmo com as demais variáveis do modelo.

**Figura A.6 – Tela de equações**





O software já escreve as equações de acordo com o “Diagrama de Fluxos” que se tenha desenhado. Falta completar o valor inicial das variáveis de Nível, e as relações aritméticas das variáveis de “Fluxos”, para as demais variáveis “Auxiliares” e constantes (ver item A.4). Não esquecer de conferir sempre as unidades:

No menu da barra superior escolher Model > Check Model e deve aparecer “Model is OK”. Fazer o mesmo para conferir as unidades.




## Como simular o modelo?

Para simular o modelo são necessários os seguintes passos:

- pulsar no ícone . Para atender a mensagem (**Current**) aplicar "yes" ou "no" para dar um novo nome a simulação.
- Pulsar o ícone  para ter acesso as variáveis manuseáveis;

## Resultados

Existem várias formas de visualizar o resultado de uma simulação. À esquerda da tela aparecem os seguintes ícones:

- a evolução temporal de um elemento e suas causas ; 
- a evolução temporal de um elemento ; 
- a tabela de valores do elemento ;

Para verificar a evolução de um elemento deve-se fazer igual a escrever uma equação (ícone equações), logo após aplicar "OK". Em seguida escolher uma das três formas anteriores que interesse.

Ao se comete erros ao desenhar os diagramas, usar o ícone 

Para salvar o modelo teclar File -> Save.

## Funções do Vensim PLE

O Vensim utiliza pontos "." para sinalizar decimais, e ";" para separar elementos de uma fórmula. Existem outras informações em F1 (Search Index for a topic). Uma função FUNCTION(#,A,B,C,,,) mostra as relações que existem entre os elementos relacionados. Assim a função  $Y=2X$  nos indica que Y tomará sempre o dobro do valor que toma X sem nenhuma outra restrição. A seguir relaciona-se as funções utilizáveis no Vensim:

- **ABS(A);**

Calcula o valor absoluto de A. O valor absoluto (positivo) da unidade. Por exemplo, ABS(5.00) é igual a 5.00 e ABS (-5.00) é igual a 5.00. Atua como a função IF THEN ELSE ( $X < 0$ , - X, X), de forma que se X é negativo muda-se o sinal, por isso o resultado é sempre positivo.

- **EXP(X);**

Calcula  $e(2.718\dots)$  elevado a X .

- **IF THEN ELSE(cond,X,Y);**

O resultado é X se a condição não é zero, se é zero o resultado é Y. A condição pode ser uma expressão matemática ( $Z>0$ ), o uma variável (Z).

- **LN(X);**

Calcula o logaritmo natural de X.

- ***MAX(A,B);***

Calcula o máximo entre A e B. Se um dos dois valores é constante (A), o resultado será (B) quando  $B > A$ , e o resto dos períodos o resultado será (A).

- ***MIN(A,B);***

Calcula o mínimo entre A y B.

- ***PULSE(A,B);***

Pulso de altura 1.0, começando no período A y acabando em B.

- ***RAMP(S,T1,T2);***

Valor é 0 até o período T1, a partir deste instante aumenta S unidades cada período, até o período T2 , e logo permanece constante.

- ***RANDOM UNIFORM(m,x,s);***

A saída é uma série de valores aleatórios com um mínimo de "m", e máximo de "x", "s" é o parâmetro de cálculo dos números aleatórios, e pode ser qualquer número. Ao se modificar "s" se modifica a série de números aleatórios.

- ***SIN(X);***

Calcula o seno de X en radianos.

- ***SQRT(X);***

Calcula a raiz quadrada de X.

- **STEP(H,T);**

O resultado é 0 até o momento T, a partir de então o resultado é H.

- **XIDZ(A,B,X);**

O resultado é X se B é zero ( $B=0$ ), caso contrario o resultado é  $A/B$ . Se usa quando temos que fazer a divisão  $A/B$  e em algum instante B pode ser zero, o que daria como resultado do quociente um valor infinito, e o colapso do Vensim. Neste caso, se B é igual a zero, o resultado do quociente é X.

- **ZIDZ(A,B);**

O resultado é zero (0) se B é zero ( $B=0$ ), caso contrario o resultado é  $A/B$ . Se usa quando temos que fazer a divisão  $A/B$  e em algum instante B puede ser zero, o que daria como resultado do quociente um valor infinito, e o colapso do Vensim. Neste caso, se B é igual a zero, o resultado do quociente é zero.

- **TEMPO DE ATRASOS**

Nos sistemas dinâmicos encontra-se com freqüência situações em que as respostas de uma variável em relação a outra não são instantâneas, e sim que se produzem atrasos. Pode-se modelar estas situações, em função de que estas variáveis sejam informações, ou também que sejam



materiais, ou físicas. Também podem-se modelar considerando que a resposta é muito forte à princípio (primeira ordem) ou que a resposta apresenta um importante atraso (terceira ordem).

### ***Atrasos de Informações***

- ***DELAY1(I,T);***

Atraso exponencial de primeira ordem, para a variável I e período T.

- ***DELAY1I(I,T,N);***

Igual que DELAY1 porém começando em N em vez de I.

- ***SMOOTH3(X,T);***

Atraso exponencial de terceira ordem, para o valor X e o período T .

- ***SMOOTH3I(X,T,N);***

Igual que SMOOTH3 porém começando em N em vez de T.

### ***Atrasos de Materiais***

- ***SMOOTH(X,T);***

Atraso exponencial de primeira ordem, para a variável X e período T.

- ***SMOOTHI(X,T,N);***

Igual que SMOOTH porém começando no período N em vez do T.

- ***DELAY3(I,T);***

Atraso exponencial de terceira ordem, para o valor I e o período T .

- ***DELAY3I(I,T,N);***

Igual que DELAY3 porém começando em N em vez de T.

### **Equações do Modelo**

Por ultimo, apresenta-se as equações utilizadas no modelo principal e no modelo da aplicação com a estratégia política de simulação da “Divisão de Engenharia Eletromecânica (ENEE.DT)”. Completando as informações necessárias para se construir o modelo e proporcionar estudos e testes de trabalhos futuros utilizando-se a técnica “Dinâmica de Sistemas”:

(01)  $\text{admissão} = \text{demissão} + \text{Contratação}$

Unidades : Pessoa/mês

(02)  $\text{Atualização Tecnológica} = 15$

Unidades: tarefas/mês

Projetos ou revisões de projetos freqüentemente necessários, para manter a Usina atualizada com tecnologia de ponta. Esta constante foi calculada pela média de solicitações dos anos de 1999, 2000 até julho 2001, conforme Relatório de Acompanhamento ENE.DT (Departamento de Engenharia Eletrônica e Eletromecânica)

(03)  $\text{Contratação} = (\text{Planilha desejada} - \text{Especialistas})/tcT$

Unidades: Pessoa/mês

(04)  $cPd = 1$

Unidades: mês

Tempo de cobertura de projetos desejados

(05) demissão = Especialistas/Tempo estimado dos Contratos

Unidades: Pessoa/ mês

(06) Tempo estimado dos Contratos = 24

Unidades: mês

(07) Emissão = Solicitações

Unidades: tarefas/mês

(08) Especialistas = INTEG (+admissão - demissão, 20)

Unidades: Pessoas

(09) Fator de correção = (Projetos desejados - Projetos) /  $tcP$

Unidades: tarefas/mês

(10) FINAL TIME = 36

Unidades: mês

O tempo final da simulação.

(11) INITIAL TIME = 0

Unidades: mês

O tempo inicial da simulação.

(12) Média das Solicitações = SMOOTH(Solicitações,  $tmS$ )

Unidades: tarefas/mês

Média da Solicitações nos últimos "tms"

- (13) Planilha desejada = Produção desejada/Produtividade  
Unidades: Pessoa/mês
- (14) Produção = Produção normal  
Unidades: tarefas/mês
- (15) Produção desejada = Média das Solicitações + Fator de correção  
Unidades: tarefas/mês
- (16) Produção normal = Especialistas \* Produtividade  
Unidades: tarefas/mês
- (17) Produtividade = 1  
Unidades: tarefa/Pessoa/mês
- (18) Projetos = INTEG (+Produção - Emissão, 20)  
Unidades: tarefas
- As 20 tarefas iniciais, são consideradas como reserva tática gerencial, parcialmente concluídas, não são emitidas no mês por estarem aguardando alguma informação e ao mesmo tempo cobrindo a programação da produção do mês.
- (19) Projetos complementares = 5  
Unidades: tarefas/mês  
Ver Atualização Tecnológica.
- (20) Projetos desejados = Média das Solicitações \* cPd  
Unidades: tarefas

(21)  $SAVEPER = TIME STEP$

Unidades: mês

A frequência de saída.

(22) Solicitações =(Atualização Tecnológica + Projetos complementares)

Unidades: tarefas/mês

Considera-se todos os pedidos que envolvam algum gasto de Hh (homem - hora) da Equipe. Estes pedidos podem ser feitos de várias maneiras, até verbalmente, porém devem ser oficializados no Relatório de Acompanhamento - ENE.DT.

Unidades: tarefas/mês

(23)  $tcP = 2$

Unidades: mês

Tempo necessário para corrigir as discrepâncias as quantidades de projetos concluídos e a quantidade de projetos desejados.

(24)  $tcT = 6$

Unidades: mês

(25)  $TIME STEP = 0.5$

Unidades: mês

O tempo "step" para simulação.

(26)  $tmS = 12$

Unidades: mês

Tempo utilizado para calcular a média de Solicitações.

### Equações modificadas para o modelo da aplicação

(01)  $\text{Produção} = \text{Produção normal} * \text{Resposta a Tensão}$

Unidades: tarefas/mês

(02)  $\text{Resposta a Tensão} = \text{Tabela}(\text{TENSÃO})$

Unidades: **\*\*indefinida\*\***

(03)  $\text{Solicitações} =$

(Atualização Tecnológica + Projetos complementares)\*

$$(1 + \text{STEP}(0.15, 6)) * (1 - \text{STEP}(0.2, 18))$$

Unidades: tarefas/mês

(04)  $\text{Tabela}$

$$([(0.8, 0.8) - (1.2, 1.5)], (0.8, 0.875), (0.9, 0.875), (1, 1), (1.1, 1.25), (1.2, 1.25))$$

(05)  $\text{TENSÃO} = \text{Produção desejada} / \text{Produção normal}$

Unidades: **\*\*indefinidas\*\***