ANDRÉ BAITELLO

**AVALIAÇÃO DO APRENDIZADO NA
PRODUTIVIDADE DE UM ESTALEIRO: UMA
ABORDAGEM ATRAVÉS DA DINÂMICA DE
SISTEMAS**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Título de Mestre
em Ciências, Programa de Engenharia
Naval e Oceânica.

São Paulo
2012

ANDRÉ BAITELLO

**AVALIAÇÃO DO APRENDIZADO NA
PRODUTIVIDADE DE UM ESTALEIRO: UMA
ABORDAGEM ATRAVÉS DA DINÂMICA DE
SISTEMAS**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Título de Mestre
em Ciências, Programa de Engenharia
Naval e Oceânica.

Área de Concentração:
Engenharia Naval e Oceânica

Orientador:
Prof. Dr. Marcelo Ramos Martins

São Paulo
2012

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 28 de julho de 2012.

Assinatura do autor

Assinatura do orientador

FICHA CATALOGRÁFICA

Baitello, André

Avaliação do aprendizado na produtividade de um estaleiro: uma abordagem através da dinâmica de sistemas/ A. Baitello. – ed. rev. – São Paulo, 2012.

128 p.

Dissertação (Mestrado) — Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica.

1. Construção naval #1. 2. Produtividade #2. 3. Estaleiros #3. 4. Dinâmica de sistemas #4. I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. II. t.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, ao meu pai José Agostinho Baitello, a minha esposa Patrícia Levy, ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo Ramos Martins, ao Prof. Dr. Nilton Nunes Toledo, ao Prof. Dr. Isaías Custódio, ao Sr. Carlos Reynaldo Camerato, ao Sr. Joaquim Rocha dos Santos e aos alunos, funcionários e professores Escola Politécnica com quem tive contato neste período. Todos me ajudaram muito e foram fundamentais para a realização deste trabalho.

RESUMO

Profundas transformações na política energética brasileira têm motivado a revitalização da indústria naval no Brasil. Novos estaleiros estão surgindo em diferentes regiões do país e todos, sem exceção, terão o desafio de aprender com a experiência e, paulatinamente, formar sua força de trabalho. Neste início, que além de árduo é decisivo para o futuro dos estaleiros, é fundamental que se comece a partir das diretrizes corretas, respeitando as mesmas regras básicas que selecionaram os estaleiros que hoje se encontram em posição de destaque no mundo. Os estaleiros japoneses, por exemplo, ergueram as suas bases em um ambiente econômico pós-guerra extremamente restritivo e cheio de dificuldades, mas que os obrigou a desenvolverem um novo paradigma industrial que eliminou desperdícios e possibilitou um salto no desenvolvimento tecnológico e na produtividade na construção naval.

Desde então, especialmente após as duas crises do petróleo, a busca pela produtividade em um estaleiro, não é apenas uma questão de competitividade e diferenciação perante os concorrentes, mas um fator de sobrevivência, uma vez que a indústria de construção naval é global e extremamente competitiva em preço, prazo, qualidade, tecnologia e produtividade. Normalmente a produtividade na construção naval é expressa na forma inversa da produtividade parcial da mão de obra (HH/CGT), não por acaso, pois, além da influência de melhores práticas produtivas, sabe-se que o desempenho da força de trabalho representa importante parcela na produtividade de um estaleiro.

Neste sentido, esta pesquisa propõe-se a desenvolver um modelo simplificado através da Dinâmica de Sistemas que possibilite simular o comportamento dinâmico da produção, da força de trabalho e da produtividade em um estaleiro para avaliar, através da experiência de modelagem e dos resultados das simulações, cenários que permitam mostrar direções que favoreçam seu aprendizado em produtividade e garantam sua sustentabilidade em função de seu desempenho no longo prazo. A razão desta proposta é explorar algumas das causas que determinam o comportamento dinâmico das curvas de aprendizado dos estaleiros, para então traçar algumas diretrizes que indiquem o caminho para o aprendizado sistêmico.

A partir de uma seleção das alavancas para a aprendizagem em produtividade, foram selecionadas cinco diretrizes para estaleiros que tenham o objetivo da aprendizagem, todas relacionadas de alguma maneira com algum aspecto da força de trabalho que são: respeitar os limites do crescimento da força de trabalho, reter experiência e aumentar o seu aproveitamento, criar condições para alavancar o aprendizado da força de trabalho, facilitar a transferência do aprendizado da força de trabalho para o aprendizado da produção e que o aprendizado através de rotinas e processos de produção seja realizado em conjunto com o aprendizado das pessoas.

A principal contribuição deste trabalho é a demonstração, através do processo de modelagem e dos resultados da simulação, de um conceito amplamente divulgado pelas teorias de aprendizagem organizacional, de que a origem do aprendizado está nas pessoas e, portanto, são estas os elementos mais importantes do estaleiro. O modelo também ajuda a replicar o paradoxo de que o estaleiro não depende de uma pessoa em específico, mas depende completamente do conjunto formado por todas as pessoas que lá trabalham. Portanto, conforme o pensamento sistêmico define as organizações de aprendizagem, o estaleiro deve ser pensado como um sistema de aprendizagem, em que o desenvolvimento das pessoas é realizado em todos os níveis e o aprendizado ocorre junto com o processo produtivo.

ABSTRACT

Profound changes in Brazil's energy policy have motivated the revitalization of the shipbuilding industry in Brazil. New shipyards are springing up in different regions of the country and all, without exception, have the challenge of learning from experience and gradually train their workforce. At this moment, that is decisive for the shipyards future, it is essential to start from the correct guidelines, respecting the same basic rules that selected established yards which are now in a prominent position in the world shipbuilding market. The Japanese shipyards, for instance, raised its bases in a post-war economic environment extremely restrictive and full of difficulties, but they were compelled to develop a new industrial paradigm that eliminated waste and enabled a leap in technological development and productivity in the shipbuilding process.

Since then, especially after the two oil crises, the race for productivity in world yards, is not just a matter of competitiveness and differentiation against competitors, but a survival factor in the shipbuilding industry, now a global industry and extremely competitive in price, time, quality, technology and performance. In the shipbuilding industry, productivity is usually expressed as the inverse ratio of partial labor productivity (or MH/CGT), not only by the influence of best production practices, but also by workforce performance that plays an important share in a shipyard productivity indexes.

Therefore, this research proposes to develop a simplified model using System Dynamics practices that allows to simulate the dynamic behavior of production, labor and productivity in a shipyard to assess, through the experience of modeling and simulating, a set of scenarios and show directions to promote learning in productivity and ensure shipyard sustainability in terms of its performance in the long run. The reason for this proposal is to explore some of the causes that determine the dynamic behavior shipyard learning curves, and then draw some guidelines that indicate the path to the systemic learning.

From a selection of leverage points for learning productivity, we selected five guidelines for shipyards that have the learning goal, all related in some way with some aspect of the workforce which are: respect the limits of growth of the labor force, retain and increase workforce experience used by learning process, create conditions to empower the learning of the workforce, facilitate the transfer of learning from the workforce to the production learning through frameworks, routines and ensure that production learning is conducted in the same time of individuals learning once they have make concepts and implement new production process.

The main contribution of this study is to demonstrate, through the process of modeling and simulation results, a concept widely publicized by the theories of learning organizations, that the source of learning is in people and, therefore,

they are the most important elements in the shipyard. The model also helps to replicate the paradox that the shipyard does not depend on any specific person, but depends completely on all shipyard people. Therefore, as defined by systems thinking theories about learning organizations, the shipyard should be thought of as a learning system, where people at all levels are developed and learning occurs in the same time as the production process.

SUMÁRIO

Lista de Ilustrações	viii
Lista de Tabelas	ix
Lista de Abreviaturas e Siglas	x
1 Introdução	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Motivação	3
1.3 Organização	3
 I Fundamentos de Construção Naval, Curvas de Aprendizado e Aprendizado das Organizações	 4
2 O Estaleiro e o Processo de Construção Naval	5
2.1 Caracterização do Estaleiro	5
2.2 Carteira de Encomendas	8
2.3 Força de Trabalho	10
2.3.1 Organização Hierárquica	11
2.3.2 Qualificação e Habilitação Técnica	15
2.3.3 Relacionamento e Recompensa	16

2.4	Produção	17
2.4.1	Paradigmas de Produção	18
2.4.2	Níveis de Desenvolvimento Tecnológico	20
2.4.3	Processo de Construção Naval	23
2.4.4	Infraestrutura	27
2.4.5	Mecanização e Automação	28
2.5	Produtividade	33
2.5.1	Produtividade da Força de Trabalho	34
2.5.2	Esforço Produtivo e Melhores Práticas	35
2.5.3	Efeitos de Melhores Práticas na Produtividade	36
3	Fundamentação Teórica - Aprendizado das Organizações	40
3.1	Curvas de Aprendizado	40
3.1.1	Estrutura das Curvas de Aprendizado	43
3.2	Aprendizado das Organizações	46
3.2.1	Características das Organizações de Aprendizagem . . .	47
3.2.2	Modelos de Organizações de Aprendizagem	48
3.2.3	Modelo de Aprendizagem Individual	48
3.2.4	Modelo de Aprendizagem Organizacional	52

II Metodologia de Pesquisa através da Dinâmica de Siste-

mas, Formulação e Validação do Modelo 54

4 Metodologia de Pesquisa 55

4.1 Processo de Modelagem 56

4.2 Definição do Problema 59

4.2.1 Seleção de Fronteiras 60

4.2.2 Iterações do Processo de Modelagem 62

5 Formulação e Validação do Modelo 65

5.1 Formulação da Hipótese Dinâmica 65

5.2 Subsistemas do Modelo 67

5.3 Estrutura do Modelo 69

5.3.0.1 Subsistema de Produção 70

5.3.0.2 Subsistema de Força de Trabalho 72

5.3.0.3 Subsistema de Aprendizado 73

5.4 Testes para Validação do Modelo 73

5.4.1 1º Teste - Verificação com a Hipótese Dinâmica 75

5.4.2 2º Teste - Verificação com o Comportamento Não Desejado 76

5.4.3 3º Teste - Comparação com Modo de Referência 77

III Análise e Discussão do Modelo e Simulação de Cenário

rios	85
-------------	-----------

6 Análise e Discussão do Modelo	86
--	-----------

6.1 Comportamento Dinâmico do Estaleiro	87
---	----

6.2 Efeitos do Aprendizado na Produtividade	88
---	----

6.3 Contribuição do Modelo	90
--------------------------------------	----

7 Simulação de Políticas	92
---------------------------------	-----------

7.1 Pontos de Alavancagem de um Estaleiro	93
---	----

7.2 Arquétipo de Inversão de Ônus	95
---	----

7.3 Cenários para a Simulação de Políticas	97
--	----

7.4 Cenário A - Limite ao Crescimento	97
---	----

7.5 Cenário B - Valor da Experiência	98
--	----

7.6 Cenário C - Intensidade do Aprendizado das Pessoas	99
--	----

7.7 Cenário D - Tempo de Transferência entre Aprendizados	99
---	----

7.8 Cenário E - Somente o Aprendizado da Força de Trabalho	100
--	-----

7.9 Cenário F - Somente o Aprendizado da Produção	100
---	-----

7.10 Resultados da Simulação de Cenários	101
--	-----

IV Conclusões e Recomendações para Trabalhos Futuros106

8 Conclusões e Recomendações	107
-------------------------------------	------------

9 Recomendações para Estudos Futuros	112
---	------------

Referências	114
Apêndice A – Documentação do Modelo	117

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

1	Competitividade dos Paradigmas de Produção	21
2	Fluxo de Informações da Construção Naval	26
3	Fluxo Material da Construção Naval	27
4	Níveis de Automação	29
5	Automação na Construção Naval	32
6	Relação entre Produtividade e Adoção de Melhores Práticas . .	37
7	Exemplo de Curva de Aprendizado e Esquecimento	41
8	Curvas de Aprendizado dos Estaleiros Japoneses	42
9	Curvas de Aprendizado dos Estaleiros Sul-coreanos	43
10	Estrutura de uma Curva de Aprendizado	44
11	Ciclo de Aprendizagem Experiencial	49
12	Ciclo de Aprendizagem Individual OADI-MMI	51
13	Ciclo de Aprendizagem Individual OADI-MMC	53
14	Processo de Modelagem	57
15	Diagrama da Hipótese Dinâmica	66
16	Diagrama de Subsistemas	69
17	Modelagem da Carteira e Capacidade	70
18	Modelagem da Produção	71
19	Modelagem da Força de Trabalho	79

20	Modelagem da Experiência da Força de Trabalho	80
21	Modelagem do Aprendizado	81
22	Validação com a Hipótese Dinâmica	82
23	Validação com o Comportamento Não Desejado	83
24	Validação com Modo de Referência	84
25	Arquétipo Inversão de Ônus	96
26	Simulação do Cenário A	98
27	Simulação do Cenário B	99
28	Simulação do Cenário C	100
29	Simulação do Cenário D	101
30	Simulação do Cenário E	102
31	Simulação do Cenário F	103

LISTA DE TABELAS

1	Mapa de Contorno do Modelo	61
2	Pontos de Alavancagem do Estaleiro	95
3	Definição de Cenários para Simulação de Políticas	98

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CGT *Compensated Gross Tonnage*

GT *Gross Tonnage*

HH Homem-Hora = Uma hora de trabalho realizada por um homem

MMI Modelo Mental Individual

MMC Modelo Mental Compartilhado

OADI Observar, Avaliar, Desenhar e Implementar (Ciclo de Aprendizagem)

PA Pessoa-Ano = Um ano da experiência válida de uma pessoa

USP Universidade de São Paulo

1 INTRODUÇÃO

A atividade de construção naval em um estaleiro sofreu importantes transformações ao longo de sua história e, mesmo com o advento e aperfeiçoamento dos métodos industriais de produção, conserva sua principal característica: o uso de mão de obra intensiva.

Expressivos ganhos de produtividade foram obtidos por diversos estaleiros asiáticos nas últimas décadas, e este sucesso está associado à adoção de melhores práticas e ao bom desempenho de seus trabalhadores. Sucesso este que também é almejado pelos novos empreendimentos que surgem com o renascimento da indústria naval no Brasil.

Uma avaliação sobre o papel da força de trabalho na construção naval revela sua importância pois, além de atuar na realização das atividades através da entrega de seu esforço, as pessoas em um estaleiro também acumulam experiência e atuam como fonte aprendizado. Este aprendizado, quando difundido e consolidado pelo tempo, é transferido e torna-se parte da organização.

A indústria naval brasileira possui atualmente o desafio de aumentar sua produtividade. Em parte, os estaleiros enfrentam a resistência de causas exógenas como a grande disputa por profissionais especializados entre os setores de infraestrutura e a correspondente escassez de mão de obra local com a qualificação desejada. No entanto, acredita-se que existam fatores endó-

genos que podem contribuir para superar as deficiências de aprendizagem em produtividade através de medidas que os próprios estaleiros podem tomar para construir o seu futuro. Sabe-se que a formação da força de trabalho foi um desafio comum a diversos estaleiros estabelecidos no mundo que, em algum momento, tiveram que desenvolver políticas internas voltadas ao estímulo, transferência e retenção do aprendizado.

Este trabalho pretende, a partir da essência, dos princípios e das práticas do pensamento sistêmico, mostrar a importância da força de trabalho e o papel de sua aprendizagem na formação da memória e no aprendizado da organização, bem como analisar as relações destes elementos com as variações de produtividade em um estaleiro.

1.1 Objetivos

Esta pesquisa pretende, a partir de uma perspectiva sistêmica, atingir os seguintes objetivos:

- Desenvolver um modelo simplificado que possibilite simular o comportamento dinâmico da produção, da força de trabalho e da produtividade em um estaleiro.
- Demonstrar, através da simulação, os efeitos qualitativos do acúmulo de experiência e do aprendizado na produtividade de um estaleiro.
- Avaliar cenários a partir do comportamento dinâmico observado e obter diretrizes que favoreçam a sustentabilidade do estaleiro no longo prazo.

1.2 Motivação

O pensamento sistêmico muito pode contribuir na compreensão e definição de políticas para um sistema complexo como um estaleiro. Situações como *governávamos o sistema até percebermos que o sistema nos governava* ou perguntas como *éramos prisioneiros do sistema ou prisioneiros do nosso próprio raciocínio?* (SENGE, 1990b) estimulam a valorização do entendimento da estrutura e das relações dinâmicas entre seus componentes e servem de motivação para a busca de soluções que favoreçam o desenvolvimento dos empreendimentos da indústria naval no Brasil.

1.3 Organização

Esta pesquisa foi organizada em quatro partes, que correspondem à estrutura de apresentação deste texto:

- Parte I – Fundamentos de Construção Naval, Curvas de Aprendizado e Aprendizado das Organizações.
- Parte II – Metodologia de Pesquisa através da Dinâmica de Sistemas, Formulação e Validação do Modelo.
- Parte III – Análise e Discussão do Modelo e Simulação de Cenários.
- Parte IV – Conclusões e Recomendações para Trabalhos Futuros.

PARTE I

FUNDAMENTOS DE CONSTRUÇÃO NAVAL, CURVAS DE APRENDIZADO E APRENDIZADO DAS ORGANIZAÇÕES

2 O ESTALEIRO E O PROCESSO DE CONSTRUÇÃO NAVAL

O estaleiro é o local onde se constroem embarcações - navios e plataformas - e seus subsistemas são fabricados, montados e integrados. Esta é uma descrição possível, porém parcial, pois não considera um elemento essencial do estaleiro que é sua força de trabalho. As pessoas e as relações decorrentes da interação destas com os elementos de produção é que tornam possível o funcionamento do estaleiro e definem o seu comportamento. Portanto, para o propósito deste trabalho, faz-se necessário o entendimento e caracterização do estaleiro a partir de uma perspectiva sistêmica.

2.1 Caracterização do Estaleiro

O estaleiro é um sistema. Mais do que o lugar onde se constroem navios, é uma organização industrial que emprega milhares de trabalhadores organizados em uma estrutura hierárquica formada por vários grupos de trabalho. É uma organização diversificada, formada por pessoas com diferentes formações, habilitações profissionais e, em alguns casos, diferentes origem e culturas, com a necessidade de perseguirem um objetivo comum e trabalharem alinhadas com os valores da corporação. Os objetivos, assim como os valores, podem variar de um estaleiro para outro, mas em geral os estaleiros buscam ganhar novos contratos, construir as embarcações com boa produti-

vidade e melhor utilização possível da infraestrutura e dos equipamentos de produção para, desta forma, obter lucros que possam garantir a continuidade do negócio. Isto resulta em uma indústria cujo comportamento é complexo, não-intuitivo e caracterizado por significativo fluxo de informações entre seus departamentos, que se relacionam tanto para o gerenciamento quanto para a execução das atividades, e por grande fluxo material de estruturas em aço, tubulações, equipamentos, cabos, consumíveis, dentre outros. Como qualquer sistema formado por pessoas, o estaleiro evolui, auto-organiza e regula a si próprio. Portanto, o estaleiro é mais do que a soma de seus elementos e adequa-se à seguinte definição:

Sistema: É um conjunto de elementos coerentemente organizados e interconectados em uma estrutura que produz um comportamento característico, comumente classificado como sua função ou propósito (MEADOWS, 2008).

Estaleiro: É um conjunto de pessoas, informações, recursos - como instalações, equipamentos - e produtos em diferentes fases de produção, coerentemente organizados através de um processo produtivo, que se relacionam e possuem o objetivo comum de construir embarcações com um desempenho que possibilite a conservação, expansão e eventual evolução do sistema no longo prazo.

Além da complexidade de execução dos processos de construção naval e da complexidade tecnológica das próprias embarcações construídas, os elementos do estaleiro ao se relacionarem conferem ao sistema uma complexidade dinâmica, que resulta em comportamento não linear e, na maioria das vezes, contra-intuitivo. Isto aumenta consideravelmente o desafio dos tomadores de decisão e formuladores das políticas internas do estaleiro. Segundo

Forrester (1961), *como a maioria dos sistemas reais, um sistema complexo é uma estrutura repleta de estruturas de retroalimentação*. Isto significa que em sistemas complexos existem diversos mecanismos de ação e reação que atuam cada um a seu tempo. Segundo Sterman (2000) as principais características de Sistemas Complexos são:

- Possuem comportamento e relações dinâmicos
- São formados por elementos altamente acoplados
- São governados por retroalimentação
- O efeito pode ser desproporcional à causa (não linearidade)
- O estado atual não depende dos estados anteriores
- A estrutura interna do sistema determina seu comportamento
- O comportamento pode ser contra-intuitivo
- A complexidade dos sistemas pode ser maior do que nossa capacidade cognitiva
- As respostas de curto prazo a uma intervenção podem diferir substancialmente das respostas de longo prazo

Dentre os itens acima um merece ser destacado: **a estrutura interna do sistema é que gera o seu comportamento**. Assim, para se compreender o comportamento de um sistema complexo, deve-se avaliar sua estrutura que, conseqüentemente, indicará a causa endógena para o comportamento observado. A explicação endógena para o comportamento dos sistemas é ponto fundamental das análises através da Dinâmica de Sistemas conforme orientado pelo próprio Forrester (1961) quando lançou as bases desta área de estudos.

Mas em que consiste a estrutura do estaleiro? Sterman (2000) definiu a estrutura de um sistema como sendo o conjunto dos ciclos de retroalimentação, estoques, fluxos e não-linearidades criadas pela interação destes elementos com os processos de tomada de decisão dos agentes que atuam no sistema. Assim, a estrutura do estaleiro é formada pelos seus elementos - estoques e fluxos - como: a carteira de encomendas e seus fluxos de encomendas e entregas, os estoques de montagem e edificação e seus fluxos de produção, o efetivo que compõe a força de trabalho e seus fluxos de contratações e demissões, a experiência acumulada nas pessoas e suas oscilações, a experiência através de práticas e processos acumulada a cada navio entregue e, finalmente, os ciclos de reforço ou de balanço que atuam em cada um destes elementos, influenciados pelas políticas de tomada de decisão dos gestores da organização. Nas próximas seções deste capítulo, será apresentada uma descrição de como os elementos do estaleiro estão organizados e relacionados através de um processo de construção naval.

2.2 Carteira de Encomendas

A Carteira de Encomendas é a razão de existir de um estaleiro, pois corresponde a sua demanda real, composta por uma fila de contratos de construção naval a serem cumpridos, e também reflete a percepção dos clientes sobre a empresa, se existe confiança que o estaleiro conseguirá entregar embarcações com os atributos técnicos, qualidade, custo e prazo desejados pelos clientes. Os principais atributos de uma carteira de encomendas são: tamanho e composição.

- *Tamanho da Carteira*: O tamanho da carteira indica a quantidade de serviço que o estaleiro terá nos anos seguintes e sua variação pode indicar

expansão ou contração do negócio. No entanto, este tipo de avaliação deve ser relativa à capacidade real de entregas do estaleiro, que pode ser obtida a partir da taxa de entrega máxima anual verificada nos últimos anos de funcionamento do estaleiro. Caso a demanda esteja aquecida, a razão da carteira de encomendas sobre a capacidade irá indicar aumento nos prazos de entregas e, provavelmente, motivará o surgimento de planos de expansão para atender os futuros contratos. Como a capacidade depende de um conjunto de infraestrutura e equipamentos projetados para garantir um fluxo de produção ideal, sua expansão não é imediata, pois depende de engenharia e obras civis, além da formação de pessoas. Por outro lado, um estaleiro com pequena carteira pode indicar uma intenção de desmobilização voluntária ou perda de participação de mercado que invariavelmente irá resultar em desmobilização, pois demandará menor utilização da infraestrutura e menor orçamento para manter sua força de trabalho, obrigando-o a demitir pessoas e perder conhecimento.

- *Composição da Carteira:* A composição da carteira indica o perfil do estaleiro, os tipos e valores das embarcações contratadas e os segmentos de mercado que o estaleiro atende. Dependendo da complexidade das embarcações produzidas, que podem ter maior valor agregado conforme a dificuldade de construção e a quantidade de tecnologia embarcada, maior pode ser a atratividade perante os clientes. Normalmente estaleiros novos iniciam suas atividades produzindo embarcações simples e, conforme acumulam experiência e ganham produtividade, é que aumentam o nível tecnológico das embarcações produzidas. Quanto maior a complexidade e tecnologia dos produtos, maior o valor financeiro da carteira de encomendas e, possivelmente, maior a margem de lucro do

estaleiro.

A Carteira de Encomendas, assim como seus fluxos de entrada (encomendas) e de saída (entregas), pode ser medida de diversas formas uma vez que não existe uma unidade padrão estabelecida para a produção de um estaleiro. A melhor maneira disponível atualmente é a através do CGT, ou *compensated gross tonnage*, que corresponde ao volume interno da embarcação medido em GT, ou *gross tonnage*, elevado por uma potência definida em função da complexidade de construção de cada tipo de embarcação, o que permite a comparação da produção entre estaleiros que produzem diferentes tipos de navios. Mesmo o CGT possui limitações para representar embarcações sofisticadas, como plataformas de petróleo ou outras embarcações com tecnologias especiais, mas atende ao propósito deste trabalho e será utilizado como medida da produção do estaleiro.

2.3 Força de Trabalho

A Força de Trabalho é a inteligência do estaleiro, pois corresponde ao conjunto de pessoas que lá trabalham sejam em atividades operacionais ou conceituais. São as decisões e ações do expressivo contingente de pessoas que movem o estaleiro e que possuem, mesmo em um ambiente de produção dinâmico e complexo, a capacidade de união e mobilização para a realização de um objetivo comum. Para que esta mobilização seja bem sucedida, algumas condições são necessárias: organização e integração através de uma hierarquia, qualificação e habilitação técnica para realização do trabalho e formas de relacionamento e recompensa pelo trabalho realizado.

- Organização Hierárquica: corresponde à integração das pessoas através de uma estrutura hierárquica que permite a divisão e gestão do tra-

balho entre grupos e pessoas com diferentes funções.

- **Qualificação e Habilitação Técnica:** existe um nível de educação e qualificação profissional que habilita as pessoas para executar o seu trabalho e cumprir com as atribuições da sua função.
- **Relacionamento e Recompensa:** existe um relacionamento entre a organização e os trabalhadores em que o trabalho é recompensado com salários, benefícios e outras condições que auxiliem ao trabalhador construir sua carreira e estabelecer sua vida em comunidades próximas ao estaleiro. Da mesma forma, ao longo do tempo, a empresa também é recompensada com o comprometimento do funcionário ao investir no bom relacionamento com sua força de trabalho. Existe também um relacionamento entre o estaleiro e a comunidade que ajuda a formação das pessoas e, indiretamente, pode influir no vínculo das pessoas com o local através da criação de escolas e outros meios de aquisição e compartilhamento de experiências e conhecimento.

2.3.1 Organização Hierárquica

Existe uma organização em tudo no universo e, assim como outros sistemas naturais, os sistemas sociais, políticos, industriais, enfim grande parte dos sistemas humanos organiza-se em estruturas hierárquicas (MEADOWS, 2008). Nas hierarquias são criadas funções para seus elementos e estabelecidas regras de relacionamento entre os mesmos de acordo com sua posição na estrutura. No caso de um estaleiro, a hierarquia possui fundamental importância para a organização e divisão do trabalho e para estabelecer uma estrutura que servirá de base para a evolução, expansão e consolidação no longo prazo. O fato de o estaleiro ser uma organização hierárquica não determina a qualidade das relações entre os seus elementos. A hierarquia é uma

necessidade de organização de todo sistema e eventuais virtudes ou desigualdades são originadas e manifestadas nos valores, objetivos e relacionamentos entre os agentes do sistema.

Segundo Mintzberg (1995), a estrutura organizacional envolve duas exigências fundamentais: a divisão do trabalho em diferentes tarefas e a consecução da coordenação entre tais tarefas. A divisão do trabalho em tarefas é claramente definida pelo sistema técnico ao passo que a coordenação possui características mais complexas e envolvem diversos meios, denominados por Mintzberg de mecanismos de coordenação e que são concernentes ao controle e comunicação além da própria coordenação. Mintzberg (1995) acrescenta que “Os cinco mecanismos de coordenação podem abranger as maneiras fundamentais pelas quais as organizações coordenam suas tarefas, isto é: ajustamento mútuo; supervisão direta; padronização dos processos de trabalho; padronização dos resultados; e, padronização das habilidades dos trabalhadores. ”

O ajustamento mútuo obtém a coordenação do trabalho pelo processo simples da comunicação informal entre os pares durante a execução das tarefas. A qualidade e efetividade resultante deste tipo de comunicação são fortemente dependentes do nível de maturidade e conhecimento organizacional. A supervisão direta implica na coordenação por meio de uma pessoa tendo a responsabilidade pelo trabalho dos outros, dando instruções e monitorando suas ações, que é típico em diversas atividades em um estaleiro, notadamente nas atividades que não são automatizadas. A padronização de processos está presente nos estaleiros de última geração, pois é um pré-requisito para a automação. Esta também é a melhor forma de se obter as saídas padronizadas, extremamente relevantes na indústria naval. O quinto mecanismo relacionado por Mintzberg (1995) diz respeito às habilidades e conhecimentos padroniza-

dos, obtidos através de planos de capacitação e treinamento.

A hierarquia típica de um estaleiro dá-se através de uma estrutura piramidal em que são replicadas várias unidades autônomas em que líderes gerenciam subordinados em uma proporção de líderes/coordenadores que normalmente diminui conforme as funções aproximam-se da base da pirâmide. Desta forma, cada gerente seria responsável por dois coordenadores, que por sua vez administrariam três líderes cada, que seriam responsáveis por quatro a oito operadores cada. Esta proporção entre líderes e subordinados é limitada pela capacidade física e cognitiva dos líderes e pela complexidade da atividade do grupo de trabalho. Assim, quanto maior a complexidade de gerir as atividades, maior será a proporção entre líderes e subordinados. Por exemplo, um grupo de trabalho de estruturas pode ter um líder para oito operários e um grupo de trabalho de acabamento pode ter um líder para quatro operários.

Outra característica do estaleiro é a divisão da estrutura organizacional em duas grandes frentes: uma focada na execução operacional, que será tratada por Produção, e outra focada na concepção do método produtivo, formada por disciplinas como engenharia, planejamento, suprimentos, qualidade, que será tratada genericamente por Gestão. São áreas complementares e que trabalham cooperativamente.

Os trabalhadores das áreas de Gestão têm a função de apoiar a Produção com instruções, sequenciamento de atividades, métodos e práticas de produção, desenhos de montagem, planos de trabalho e soluções práticas para problemas conceituais ligados ao *Know-Why* da atividade. No entanto, também precisam do contato com a Produção para retroalimentar seus processos com os resultados reais da execução do que fora pensado, para interpretação dos desvios e nova busca por soluções que facilite o trabalho no ambiente de produção.

Os trabalhadores das áreas de Produção são aqueles que transformam a teoria em produtos reais; são os efetivamente responsáveis pela criação de valor em forma de CGT no processo de construção naval. Por isso, em um estaleiro, a Produção tem o foco único e exclusivo de executar e medir o trabalho de forma a gerar valor para o cliente em cada movimento ou ação. Os profissionais da área de Produção acumulam o *Know-How* da atividade e, para sua atividade poder existir, precisam das informações e orientações, especialmente da engenharia e do planejamento, fornecidos pelo grupo de Gestão.

Esta estrutura remete ao ciclo básico de aprendizado Observar-Avaliar-Projetar-Executar, em que Avaliar e Projetar são as atividades do grupo de Gestão e Executar e Observar são atividades do grupo de Produção. O relacionamento cíclico e cooperativo entre estes grupos promove uma dinâmica virtuosa no estaleiro que resulta em aprendizado. A hierarquia, além de facilitar a divisão do trabalho, revela-se importante também para servir de meio para o aprendizado e evolução do sistema.

Meadows (2008) constatou que os sistemas naturais são hierárquicos e evoluem de baixo para cima. Assim é o estaleiro, que a partir dos valores, objetivos e ações do Topo da pirâmide é que se define como irá se desenvolver a Base, que por sua vez irá definir o comportamento do sistema. Não é somente a Base que trabalha para o Topo, mas principalmente - uma vez que a responsabilidade é maior, dada a amplificação das suas decisões - é o Topo que trabalha para a Base, fornecendo as condições de trabalho, apoiando a solução de problemas conceituais e promovendo o desenvolvimento dos trabalhadores. Como a base da pirâmide corresponde à maioria dos trabalhadores do estaleiro, que são os principais envolvidos na execução da atividade-fim, é aí onde se determina o comportamento do sistema.

2.3.2 Qualificação e Habilitação Técnica

Além do uso de mão de obra intensiva, o processo de construção naval demanda o emprego de profissionais com diferentes habilitações como soldador de estruturas, soldador de tubulação, montador, pintor, mecânico, eletricista, operadores de guindastes e equipamentos diversos, dentre outros. O resultado é uma grande demanda local por mão de obra qualificada, que raramente está disponível nas regiões em que estaleiros *greenfields* e novos pólos navais são constituídos.

A qualificação dos profissionais dá-se normalmente através de cursos técnicos, que por sua vez exige um nível de escolaridade inicial. É usual estaleiros apoiarem as iniciativas dos governos locais para a ampliação de vagas de ensino técnico nas instituições públicas assim como, dependendo da opção estratégica, também há casos em que o próprio estaleiro investe na qualificação ou até mesmo na educação de seus profissionais. A justificativa, neste caso, é que além de garantir a qualidade da formação, item que irá influenciar na competitividade da empresa, também é uma oportunidade de difundir os valores da organização e fortalecer o vínculo com a força de trabalho. A qualificação, vista desta perspectiva, torna-se item estratégico para a empresa, ajuda na retenção dos profissionais, gera oportunidades de crescimento na carreira, auxilia no comprometimento com o estaleiro, ou seja, favorece empregado, empregador e a aprendizagem no longo prazo.

Ao mesmo tempo em que é tão desejada, a qualificação da força de trabalho não é obtida de forma imediata. Cada trabalhador necessita de um tempo dedicado ao seu desenvolvimento e também precisa acumular experiência para aplicar o conhecimento adquirido nas situações reais de produção. Com relação ao tempo necessário para o ganho de experiência e qualificação

da força de trabalho, um estaleiro novo leva de 4 a 6 anos para atingir um nível desejável de qualificação que o permita *entrar em regime* e um estaleiro estabelecido pode atingir a maturidade entre 20 e 30 anos de funcionamento, após ter formado uma ou duas gerações de profissionais bem sucedidos e que souberam replicar o seu modelo de sucesso nas novas gerações.

Como a qualificação custa dinheiro, leva tempo para acontecer e é obtida a partir do acúmulo de experiência pelo trabalhador, os estaleiros aumentam o seu interesse em reter os trabalhadores com mais tempo de casa, portanto mais experientes, e com maior entrega de resultados, ou seja, aqueles mais capazes de aplicar sua qualificação para gerar valor onde atuam. Com o passar do tempo, as experiências bem sucedidas podem ser convertidas em rotinas da empresa, mas mesmo assim o aprendizado, que é a razão de existir das rotinas, invariavelmente fica com as pessoas, especialmente as mais experientes e bem sucedidas. É por isso que, quanto melhor o relacionamento entre estaleiro e trabalhador, ou melhor, quanto mais cooperativa for esta relação, maior será a retenção dos profissionais e, conseqüentemente, maiores serão as chances de sucesso do sistema no longo prazo.

2.3.3 Relacionamento e Recompensa

O relacionamento entre força de trabalho e a organização corresponde às relações entre os trabalhadores do estaleiro com as políticas e decisões tomadas pelos gestores da organização. A qualidade deste relacionamento é decisiva para a determinação do comportamento do sistema. Se o relacionamento for cooperativo, visando o bem comum, forma-se uma relação cíclica e virtuosa entre força de trabalho e organização. Nesta forma de relacionamento o empregador entende a realidade e as necessidades do seu empregado e trabalha para garantir as condições de vida e de trabalho que, por sua

vez, conferem ao trabalhador estabilidade necessária para o seu desenvolvimento. Em compensação, o trabalhador satisfeito, motivado e comprometido com a empresa, retribui com o trabalho físico e intelectual, com aprendizado proveniente do seu esforço e com a fidelidade ao empregador decorrente da criação de raízes por estabelecer sua vida próxima ao estaleiro.

2.4 Produção

A Produção de um estaleiro corresponde, por exclusão, a tudo aquilo que não faz parte da força de trabalho, ou seja, tudo exceto as pessoas e seus respectivos atributos como experiência, qualificações, conhecimentos, modelos mentais e valores. Desta forma, pode-se definir a produção como sendo o conjunto formado pela infraestrutura como, por exemplo, diques, cais, áreas de montagem, cabines de pintura, galpões industriais, oficinas de tubulação, pátio de aço e escritórios e por equipamentos de produção como equipamentos de jateamento e pintura, máquinas de corte, pontes rolantes, pórticos de grande capacidade, guindastes de lança, transportadores sobre rodas, prensas, calandras, equipamentos de solda, dentre outros. Além dos recursos de produção, a produção de um estaleiro caracteriza-se pelas práticas de construção naval adotadas. Desta forma infraestrutura e equipamentos estão dispostos e organizados em uma sequência lógica de produção, formada por um conjunto de processos, rotinas e práticas de construção adotadas de forma sistemática pelo estaleiro. A seguir serão apresentados os principais elementos de produção de um estaleiro e um macro-processo de produção típico de um estaleiro segundo o paradigma atual de construção naval.

2.4.1 Paradigmas de Produção

O paradigma atual de produção na construção naval faz parte de uma revolução profunda que vêm se espalhando no cenário industrial nas últimas décadas: a transição do modelo de produção em massa para o modelo de produção enxuta. O termo produção enxuta ou *lean manufacturing* foi cunhado no livro *A Máquina que Mudou o Mundo* por Womack, Jones e Roos (1990) que descreve como os japoneses da automobilística Toyota, a partir do estudo minucioso das anotações de Henry Ford e das restrições do ambiente de produção do Japão, transcenderam o paradigma da produção em massa, ao eliminar os desperdícios da fabricação e reduzir o tempo e custo de produção ao mesmo tempo em que melhoravam a produtividade da linha e a qualidade do produto final. Com a produção enxuta, os japoneses conseguiram formar uma organização completamente integrada, tanto na sua estrutura interna, do presidente e diretores até os operários, quanto no relacionamento externo, formando com seus fornecedores uma cadeia eficaz, pronta para responder rapidamente às alterações de demanda, e eficiente, capaz de fornecer materiais e produtos intermediários *just in time*.

Embora em momentos diferentes, assim também ocorreu com a indústria de construção naval. Koenig, Narita e Baba (2002) cita que estaleiros japoneses atingiram os objetivos de redução de custos e perdas bem antes de existir o conceito de *lean manufacturing* e a transformação ocorrida na Toyota. No entanto, as condições a que estes estaleiros estavam expostos, ou seja, sofrendo as restrições do ambiente econômico do Japão e completamente desprovidos de margens para excessos, desperdícios ou erros, somadas à cultura e valores dos trabalhadores japoneses, permitiu o surgimento desta nova espécie de estaleiro, no início deficiente em qualidade, porém extremamente competitiva em custo, por necessidade. Décadas depois, com as crises

do petróleo, quando o ambiente econômico mundial se tornou mais restritivo, o DNA dos estaleiros japoneses já estava consolidado e eles foram naturalmente selecionados para se tornarem os maiores construtores navais daquela geração. Ainda que os coreanos e chineses, atuais líderes em construção naval que aprenderam os conceitos da produção enxuta e tiveram as condições para assumir a liderança em custo, os japoneses continuam com o mérito de ter criado um novo paradigma industrial. Esta capacidade de transcender paradigmas, em qualquer setor da atividade humana corresponde à capacidade de aprender de uma forma especial, ou seja, de evoluir.

Assim, a história da indústria pode ser dividida em três grandes momentos que permitiram a evolução dos paradigmas de produção na indústria:

- *Craft Manufacturing*: iniciado com a primeira revolução industrial, em que métodos manuais foram substituídos por métodos mecânicos de manufatura, ou seja, trabalhos artesanais com a utilização de energia humana e de animais tornaram-se trabalhos baseados na utilização de máquinas desenvolvidas a partir do domínio da tecnologia de produção e conformação do aço e do uso crescente da energia do carvão.
- *Mass Manufacturing*: corresponde a um segundo momento, em que os métodos industriais foram aperfeiçoados e o progresso tecnológico e econômico ganhou força com o surgimento dos navios a vapor, estradas de ferro e, mais para o final do século XIX, o motor de combustão interna e a geração de eletricidade.
- *Lean Manufacturing*: terceiro momento da indústria, iniciado no século XX a partir das condições (des)favoráveis do Japão e que difundiu-se pelo mundo após as crises do petróleo. É um modelo de produção que conseguiu somar aos benefícios do ganho de escala a eliminação de

desperdícios, o aumento da qualidade e da customização dos produtos sem perda de produtividade ou acréscimo de custo.

Kim (1993a) apresentou um gráfico reproduzido na figura 1 que explica o ganho de competitividade de custo obtido a cada mudança de paradigma na indústria, tanto do ganho de escala com o advento da produção em massa, quanto do ganho de qualidade e customização com o aparecimento da produção enxuta.

2.4.2 Níveis de Desenvolvimento Tecnológico

Complementar à divisão da indústria por paradigma de produção, é utilizada na construção naval a classificação dos estaleiros industriais em cinco gerações ou cinco níveis de desenvolvimento tecnológico. Esta forma de classificação é utilizada como referência em estudos de *benchmarking* e competitividade feitos com diversos estaleiros no mundo pela *First Marine International* (FMI, 2005). Neste sistema de classificação as práticas de gestão e de construção naval dos estaleiros são medidas e comparadas através de critérios divididos em sete áreas: Estratégia e Gerenciamento, Marketing, Suprimentos, Recursos Humanos, Engenharia, Planejamento de Produção e Produção. A avaliação ponderada através destes critérios possibilitou a classificação dos estaleiros em cinco níveis ou gerações a partir das práticas adotadas. Uma vez que há correlação entre a adoção de melhores práticas e a melhora da produtividade em estaleiros, conforme publicado por Lamb e Hellesoy (2002) e Craggs et al. (2004), este sistema de classificação por nível tecnológico é útil para identificar pontos de melhorias na produção de um estaleiro com dificuldades operacionais a partir da comparação com as melhores práticas de grandes construtores navais ou ainda para avaliar a competitividade produtiva do estaleiro com relação a outros. Assim, as cinco gerações de estaleiros,

Figura 1: Competitividade dos Paradigmas de Produção (KIM, 1993a)

conforme mencionado por Baba (2000) e por FMI (2000), são:

1. *Primeiro Nível:* Estaleiros do início da década de 60. Construção de

uma peça por vez em uma carreira inclinada a céu aberto, o que demandava diversas carreiras por estaleiro e enorme quantidade de mão de obra. Oficinas de aço e de acabamento completamente separadas e independentes.

2. *Segundo Nível:* Introdução da construção por blocos, com grande redução da quantidade de carreiras por estaleiro, uma vez que maior parte do trabalho de montagem passou a ser feito em grandes oficinas. Oficinas de aço e de acabamento ainda separadas, com a oficina de acabamento localizada próxima ao cais.
3. *Terceiro Nível:* Mecanização da montagem de blocos, com aumento do tamanho dos blocos, redução do tempo de montagem e redução dos locais de montagem. Oficinas de aço e acabamento ainda separadas, porém com pré-acabamento iniciado antes do lançamento do navio.
4. *Quarto Nível:* Automação da montagem de blocos, com múltiplas linhas de processos combinadas sob um único galpão industrial. Blocos ainda maiores e já produzidos com acabamento avançado, apesar da separação das oficinas de aço e outfitting. Tempos de produção reduzidos com a especialização dos estaleiros em um determinado tipo de produto.
5. *Quinto Nível:* Filosofia de construção orientada ao produto, com instalações industriais flexíveis para a construção de uma ampla variedade de produtos, com rápida aprendizagem para cada novo tipo de embarcação. Oficinas de aço e acabamento totalmente integradas.

Da classificação acima, deduz-se que os estaleiros das primeiras gerações estão mais próximos do paradigma de produção em massa e que os estaleiros das últimas gerações estão mais próximos do paradigma de produção enxuta. Pela evolução dos critérios entre cada geração, percebe-se que existe

um movimento lento e gradual de desenvolvimento do estaleiro. Assim, é provável que um estaleiro *greenfield*, mesmo com investimentos, equipamentos e facilidades de última geração, comece efetivamente como um estaleiro de terceira geração e, com o tempo, adquira práticas de gestão e de produção até que possa ser considerado um estaleiro de quarta ou quinta geração. Assim, a classificação do estaleiro segundo a sua evolução ou seu nível de desenvolvimento tecnológico não depende apenas de investimentos em facilidades de produção, mas efetivamente do que o estaleiro é através de suas práticas de produção, do desenvolvimento da sua mão de obra, da experiência e qualidade dos seus gestores, da integração dos seus departamentos, enfim, de como o sistema está estruturado e se comporta.

2.4.3 Processo de Construção Naval

O processo de construção naval inicia-se com a encomenda da embarcação pelo cliente. A partir das especificações da embarcação acordadas no contrato de construção naval são iniciados os trabalhos da Engenharia, que seguindo uma espiral de projeto resulta no Projeto Básico da embarcação. A partir do projeto básico, em que grandes equipamentos são definidos e especificados é iniciado o processo de compra dos itens principais ou *major itens* pela área de Suprimentos. Enquanto isso, segue o trabalho da Engenharia através do detalhamento do projeto que irá gerar uma lista de materiais - chapas, tubos e demais equipamentos - para a área de Suprimentos e irá elaborar os planos de corte para a área de Produção iniciar o processamento de aço. Além dos desenhos do projeto detalhado, a Engenharia produz desenhos de produção, com instruções, especificações e sequências de montagem para orientar a Produção. Após o início do processamento e montagem, até as etapas posteriores de edificação, acabamento e comissionamento da embar-

cação, a Engenharia está sempre presente assegurando a correta execução, suportando a Produção e apresentando soluções de engenharia para os problemas do dia-a-dia de produção e utilizando o *feedback* da Produção para a melhoria dos seus projetos e processos. Desta forma, a Engenharia pensa e define a maneira de execução e tem um papel fundamental pois, junto com as áreas de Planejamento e Suprimentos, corresponde ao *know why* da atividade de construção naval.

A área de Suprimentos, além da compra dos itens principais - como motor principal - utiliza-se do Projeto Detalhado para a compra dos demais itens como chapas de aço, tubos, equipamentos, suportes, cabos, dentre outros e a contratação de serviços especializados que não é interessante para o estaleiro executar. Após a compra ou *purchasing* é feita a gestão da qualidade e prazos de entrega ou *procurement*, além do correto armazenamento do material e manutenção do equipamento - se for o caso - até a disponibilização para a Produção no momento exato e no local necessário. Assim como a Engenharia, a área de Suprimentos apoia a produção durante todo o processo, desde o acompanhamento de testes na fábrica do fornecedor até a utilização do relacionamento com os mesmos para a solução de problemas identificados no comissionamento dos sistemas.

A área de Planejamento, primeiramente utiliza-se do conhecimento obtido da fase de proposta e dos prazos acordados na fase contratual, inclusive para coordenar a integração com Engenharia e Suprimentos e garantir o atendimento aos marcos contratual. Após a elaboração do projeto detalhado, dos procedimentos de execução, realiza-se também uma fase de planejamento detalhado em que é gerada a Estrutura Analítica do Projeto (EAP) com todas as atividades necessárias para a execução do projeto e com base nos índices de produtividades reais da companhia é estimada a curva de mão de obra

com a quantidade de profissionais por função que devem ser mobilizados em cada fase da construção. Estas informações irão permitir que sejam emitidas ordens de trabalho diárias por trabalhador, também chamadas de folha-tarefa, que é o primeiro passo para a organização e controle do desempenho da força de trabalho através de sua estrutura hierárquica.

Adritsos e Perez-Prat (2000) apresenta um fluxo típico de informações na construção naval que mostra muito bem a importância da integração destas três áreas Engenharia, Planejamento e Suprimentos entre si e, como donas das informações e facilitadoras do processo de construção naval, com a área de Produção. Por integração, além do comprometimento com prazos e sincronismo de atividades, entende-se também a presença do espírito de cooperação entre as áreas, objetivando o bem comum ao invés de desejos isolados de cada área, permitindo a fluidez da sequencia produtiva, a geração de valor a cada movimento da produção ao invés da busca de metas descasadas que geram desequilíbrios às vezes por falta, às vezes por excesso de materiais, produtos intermediários, ferramentas, pessoas, desenhos ou controles.

A área de Produção, a partir de todas as informações fornecidas pelas outras áreas, é responsável pela execução, que corresponde à fabricação, montagem e instalação de tudo o que irá compor o produto final e que, por sua vez, corresponde ao *know how* da atividade de construção naval. As principais etapas de fabricação de uma embarcação, em um estaleiro de quarta ou quinta geração, são: armazenamento e tratamento de chapas, processamento de aço, fabricação e montagem de blocos, fabricação de *outfitting*, pré-acabamento, pintura, pré-edificação, edificação, acabamento e comissionamento.

A área de Produção de um estaleiro corresponde, em número, à grande maioria dos trabalhadores da organização e, portanto, reúne vários departamentos destinados a cumprir cada uma destas etapas de fabricação. Obser-

Figura 2: Fluxo de Informações da Construção Naval (ADRITSOS; PEREZ-PRAT, 2000)

va-se que estes departamentos, uma vez responsáveis pelas ações de produção, também devem estar cooperativamente integrados e comprometidos com o desempenho sistêmico ao invés da busca isolada pelo desempenho individual. O fluxo material da construção naval apresentado por Adritsos e Perez-Prat (2000) mostra a importância do controle de cada fluxo de produção para evitar desequilíbrios que poderiam gerar momentos intercalados de saturação e de ociosidade na linha de produção. Além disso, oscilações do fluxo produtivo também afetariam o sequenciamento da execução, que possivelmente resultariam em geração de retrabalho para o estaleiro. Isto deixa evidente uma forte e desejável característica dos estaleiros de produção enxuta: o fluxo contínuo de produção.

Figura 3: Fluxo Material da Construção Naval (ADRITSOS; PEREZ-PRAT, 2000)

2.4.4 Infraestrutura

A infraestrutura é o principal motivo pelo qual a indústria naval é considerada um segmento com alta barreira de entrada, uma vez que demanda grandes investimentos em infraestrutura, como diques, cais, galpões industriais, cabines de pintura e escritórios, e também uma série de equipamentos caros e específicos, como pórticos de alta capacidade, máquinas de oxicorte ou plasma, linhas de panelização, calandras, transportadores e pontes rolantes, dentre outros. No entanto, esta infraestrutura, pelas mesmas razões, também

faz com que a indústria naval seja considerada um segmento com alta barreira de saída, uma vez que as instalações e os equipamentos específicos só são atrativos para empresas do mesmo segmento e, portanto, tendem a ter baixo valor residual.

Um aspecto crítico para o desempenho do estaleiro é o dimensionamento da infraestrutura. O processo produtivo de construção naval, apresentado na seção anterior, exige que o estaleiro possua um conjunto de oficinas e facilidades cuidadosamente dimensionadas para proporcionar um fluxo contínuo de produção. Assim, como o processo é executado em série, uma eventual unidade de produção sub-dimensionada irá atuar como gargalo e, consequentemente, limitar a capacidade e gerar subutilização de toda a linha produtiva. Por outro lado, o superdimensionamento de uma unidade, além do peso do investimento desnecessário, também causa instabilidades e oscilações através da possível geração de estoques intermediários e pressões nas etapas seguintes de produção. Por isso, o dimensionamento da infraestrutura de um estaleiro é sucedido se for feito buscando o equilíbrio entre as unidades de produção e com conhecimento das reais capacidades que podem ser alcançadas pelas instalações.

2.4.5 Mecanização e Automação

A mecanização é o processo onde a máquina é utilizada para substituir o trabalho manual, humano ou animal. Já a automação é o processo de aprimoramento da mecanização, onde além do trabalho manual humano ser substituído pela máquina, esta adquire controles advindos da microeletrônica e torna-se capaz de interagir com as situações adversas, encontrando um ponto ótimo de operação e corrigindo eventuais erros, tudo conforme foi previamente programado no sistema de controle da máquina. A construção naval

deu um grande salto produtivo com mecanização dos estaleiros de 3ª geração, que possibilitou o aumento dos tamanhos dos blocos e redução dos tempos de produção, ou seja, a obtenção de economias de escala a partir do conceito de produção em massa. No entanto, após as duas crises do petróleo os estaleiros japoneses, que antes tinham produtividades inferiores aos estaleiros europeus, revolucionaram seus sistemas de produção com o que veio a se chamar posteriormente de lean manufacturing ou sistema de produção enxuta, inicialmente desenvolvido na Toyota após a Segunda Grande Guerra e posteriormente difundido para toda a indústria japonesa. Isto viabilizou o aumento do tamanho dos blocos, redução nos tempos de produção

Segundo Harris (2001) pode-se classificar a automação de uma manufatura em cinco Níveis de Automação, conforme apresentado na tabela a seguir:

	Load Machine	Machine Cycle	Unload Machine	Transfer Part
1	☂	☂	☂	☂
2	☂	Auto	☂	☂
3	☂	Auto	Auto	☂
The Great Divide				
4	Auto	Auto	Auto	☂
5	Auto	Auto	Auto	Auto

Salto do Nível 3 para 4:

- Maior Investimento
- Maiores Custos (Manutenção, Engenharia)
- Menor Flexibilidade De Produção
- Menor Uptime (N3 95% => N4 75%)
- Maior Changeover (> 1 Takt Time)

Five levels of automation. Drawing taken from *Creating Continuous Flow*, published by The Lean Enterprise Institute (2001).

Figura 4: Níveis de Automação (HARRIS, 2001)

Esta classificação não significa que um nível é melhor do que outro, apenas fornece uma base de classificação dos processos automatizados e que, embora haja processos que devem obrigatoriamente ter o nível máximo de automação, deve-se avaliar criteriosamente qual é o nível ideal de automação para o seu processo e a sua indústria. Importante ressaltar que há um grande salto na automação do nível três para o nível quatro, mas que também envolve alguns inconvenientes:

- Maior investimento: uma vez que as máquinas e equipamentos são mais sofisticados e customizados.
- Maiores custos: especialmente de manutenção e engenharia pois demandará mão de obra altamente especializada para estas atividades.
- Menor flexibilidade de produção: pois quando mais automatizada, mais restrita se torna a utilização da máquina. Consequentemente, menor a aprendizagem envolvida no processo.
- Menor tempo produtivo da máquina (uptime): que estará programada para realizar as tarefas de carregamento e de transporte além do seu ciclo de funcionamento ou sua produção propriamente dita. Harris (2001) estima que enquanto a utilização de uma máquina de nível três pode atingir 95%, uma de nível quatro deverá rodar com utilização de 70-75% e uma máquina de nível cinco com utilização de 65-70%. Quando o investimento realizado na máquina corresponde a um alto valor, o tempo parado desta máquina corresponde a um significativo desperdício de produção e a utilização deve ser considerada.
- Maior tempo de mudança (changeover): o tempo de changeover mais desejado em um processo automatizado corresponde a um takt time, que corresponde à taxa de demanda do cliente interno. Este tempo é muito mais fácil e provável de ser alcançado em automações de níveis 1, 2 e 3. Conforme aumenta a complexidade da automação, maior é o tempo de mudança de um ciclo para o outro.

Para o caso de sistemas de produção enxutos, com favorecimento do fluxo de produção e diminuição de desperdícios como estoques intermediários e tempos parados de máquinas, o nível três de automação normalmente é mais adequado. Com base neste critério de classificação, fez-se um levantamento

da ocorrência e dos níveis de automação no processo de construção naval típico de um estaleiro com produção enxuta.

No fluxo de produção naval típico, conforme apresentado por Adritsos e Perez-Prat (2000), é importante distinguir os processos que possuem automação, dos processos em que há ampla mecanização, como é o caso das atividades de transporte, uma vez que a construção naval requer a frequente movimentação de grandes cargas em todas as suas fases de produção. Desta forma, classificou-se os processos em três grandes grupos:

- Processos com automação
- Processos com mecanização
- Processos intensivos em mão de obra

Os processos intensivos em mão de obra, que não admitem ou admitem pouca automação pela complexidade e/ou variedade das operações, são: Sub-montagem e Caldeiraria, Montagem de Blocos 3D, Montagem de Mega-Blocos (Pré-Edificação), Edificação do Navio e Acabamento do Navio. Os processos intensivos em mecanização, focados no transporte e conformação de materiais, normalmente são: Transporte da Chapas, Perfis, Painéis, Blocos e Mega-Blocos (Descarregador de Chapas, Roletes, Pontes Rolantes, Virador de Chapas, Transportadores sobre Rodas, Guindastes Jib-Cranes, Pórticos Goliath). Por fim, os processos com ocorrência de automação, independente do nível, são: Pré-tratamento de Chapas, Processamento de Aço - Marcação e Corte de Chapas, Fabricação de Perfis (Longarinas), Fabricação de Painéis, Fabricação de Blocos 2D e Fabricação de Tubos

Uma avaliação dos níveis de automação do processo produtivo da construção naval, conforme a escala de Harris (2001), indica:

- Pré-Tratamento de Chapas = Nível três de Automação
- Processamento de Aço = Nível dois de Automação
- Fabricação de Perfis = Nível dois de Automação
- Fabricação de Painéis = Nível três de Automação
- Fabricação de Blocos 2D = Nível dois de Automação
- Fabricação de Tubos = Níveis de Automação de zero a dois
- Demais Itens = Níveis zero a um

Processo de Produção	Entrada no Processo	Ciclo	Saída do Processo	Transporte	Nível Automação
Pré-Tratamento (Jato/Pintura)	Mecânico	Automático	Automático	Mecânico	3
Corte de Chapas	Mecânico	Automático	Mecânico	Mecânico	2
Fabricação de Perfis	Mecânico	Automático	Mecânico	Mecânico	2
Fabricação de Painéis	Mecânico	Automático	Automático	Mecânico	3
Sub-montagem	Mecânico ou Manual	Manual	Mecânico ou Manual	Mecânico ou Manual	0
Calderaria	Manual	Manual	Manual	Manual	0
Fabricação de Tubos	Mecânico ou Manual	Automático ou Manual	Mecânico ou Manual	Mecânico ou Manual	0 a 2
Montagem de Blocos 2D	Mecânico	Manual	Mecânico	Mecânico	2
Montagem de Blocos 3D	Mecânico	Manual	Mecânico	Mecânico	0
Pintura de Blocos	Mecânico	Manual	Mecânico	Mecânico	0
Pré-Edificação (Mega-Blocos)	Mecânico	Manual	Mecânico	Mecânico	0
Edificação do Navio	Mecânico	Manual	Mecânico	Mecânico	0

Figura 5: Automação na Construção Naval

Portanto, o mapeamento dos níveis de automação em um estaleiro típico contemporâneo, indicam maior ocorrência de automação nos níveis dois e três, que por sua vez, são os níveis ideais para um sistema de produção enxuta ou lean shipbuilding. Assim, a automação na construção naval deve ser flexível para suportar grandes alterações de demanda uma vez que os estaleiros fazem parte de um mercado global, volátil e competitivo. Esta flexibilidade significa produzir em sequencia diferentes tipos de navios ou ainda plataformas marítimas sem perda de produtividade.

A maior ocorrência os níveis dois e três de automação nos estaleiros atuais é uma decisão estratégica e importante para o estaleiro, pois proporcionam

maior flexibilidade e altas taxas de utilização das máquinas, que correspondem à parcela considerável do investimento em uma planta de construção naval. Estes níveis de automação são coerentes com o conceito de produção enxuta, ou lean shipbuilding, sistema adotado pelos modernos estaleiros de 5ª geração. Observa-se também que há maior concentração de processos automatizados no início da produção, nas fases de tratamento de chapas, processamento de aço e fabricação de tubos, perfis, painéis e blocos 2D. Isto se deve à simplicidade e possibilidade de repetição das operações nestas fases de produção, diferente das fases de montagem 3D e edificação.

Há também a automação no fluxo de informações, que costuma ser customizada para a realidade de cada estaleiro, mas normalmente ocorre na forma de sistemas de informação que suportam as seguintes atividades do estaleiro: Planejamento e Controle da Produção, Programação e Distribuição de Pacotes de Trabalho, Medições da Produção / Qualidade, Interfaces da Produção com Suprimentos (ERP), Interfaces da Produção com Engenharia (CAD/CAD), Planos de Corte, Planos de Montagem, Plano de Edificação e Interfaces da Produção com Engenharia (Sistemas PLC ou Estaleiro Virtual). Percebe-se, portanto, que o aumento da complexidade das operações em um estaleiro, tornou imprescindível a automação nos fluxos de informações. Os diversos sistemas de TI, geralmente customizados para cada o processo produtivo de estaleiro, são peças chave para uma gestão eficiente e a fundamental integração entre Engenharia, Suprimentos e Produção e sincronia dos fluxos materiais de produção um sistema de produção enxuta.

2.5 Produtividade

A forma como a Produção e a Força de Trabalho se relacionam, seja através da observação, entendimento, decisões e ações das pessoas ou através

da adoção de rotinas e procedimentos consagrados na organização, irão resultar em um desempenho que terá grande influência na competitividade do estaleiro perante os concorrentes. Segundo Pires e Lamb (2008), três atributos são determinantes para o grau de competitividade de um estaleiro: custo, tempo e qualidade. Desta forma, o desempenho de um estaleiro pode ser medido por indicadores relacionados a estes atributos, respectivamente: produtividade, tempo de produção e qualidade. Segundo o pesquisador, produtividade é a maior fonte de variação de custo de produção e por isso pode é frequentemente utilizada na construção naval como indicador relacionado ao custo.

2.5.1 Produtividade da Força de Trabalho

A produtividade é a razão de tudo o que o sistema produz de valor, ou seja, as entregas do estaleiro, por tudo o que o sistema consome e utiliza, no caso os diversos recursos e insumos de produção. Esta é a definição da produtividade global, mas que na construção naval é praticamente inviável de utilizar como indicador de desempenho pela dificuldade de cálculo, além do que teria pouca utilidade em termos práticos pela sua abrangência. É por isso que na construção naval é mais usual a utilização de indicadores parciais de desempenho, que permitem avaliação mais direcionada da parcela da produtividade que mais interessa aos tomadores de decisão.

Vários são os indicadores de produtividade parcial que podem ser utilizados da construção naval, no entanto, como maior fonte de variável de custo de produção na construção naval é utilização de mão de obra, o índice de produtividade parcial mais utilizado é o esforço produtivo da mão de obra ou $[HH/CGT]$, que é o inverso da produtividade da mão de obra. O total de esforço produtivo utilizada na construção de uma embarcação pode variar por

diversos motivos, por exemplo, uma solda reprovada na inspeção irá demandar mais do que o dobro das horas utilizadas em uma execução correta pois será necessário, remover a solda com um maçarico, preparar as superfícies com um esmeril, posicionar e fixar as peças, executar a solda novamente e realizar novas inspeções. Além disso, se uma solda for refeita diversas vezes há o risco de deformações provocadas pelas oscilações de temperatura na chapa de aço podendo causar desvios dimensionais que irá demandar mais esforço produtivo para serem corrigidos.

O Prof. Nilton Nunes Toledo (2011), a partir de sua experiência na avaliação de desempenho de projetos, identificou três fatores que compõem a produtividade e que podem ser utilizados para avaliação dos principais fatores que influenciam a produtividade parcial da mão de obra. Segundo Toledo (2011), o índice adimensional que expressa produtividade da manufatura é uma composição, especificamente resultado do produto, da eficácia, da eficiência e da qualidade na manufatura, sendo:

- **Eficácia:** significa realizar a ação correta
- **Eficiência:** significa realizar a ação no tempo correto
- **Qualidade:** significa realizar de forma correta a ação

Assim, a decomposição da produtividade da força de trabalho seria:

Produtividade = Eficácia * Eficiência * Qualidade ↔

$$\leftrightarrow \text{Produtividade} = \frac{HH\text{Trabalhado}}{HH\text{Pago}} \times \frac{HH\text{Produzido}}{HH\text{Trabalhado}} \times \frac{HH\text{Aprovado}}{HH\text{Produzido}}$$

2.5.2 Esforço Produtivo e Melhores Práticas

A produtividade [CGT/HH] ou esforço produtivo [HH/CGT] da mão de obra, por ser indicador da variação dos custos de produção do estaleiro, também

serve como indicador de competitividade e permite a comparação entre estaleiros. A comparação entre estaleiros é útil pois permite posicionar um estaleiro perante os concorrentes com mesmo nível tecnológico e, através dos sistemas de benchmarking, pode-se identificar áreas de melhorias

2.5.3 Efeitos de Melhores Práticas na Produtividade

Segundo Craggs et al. (2004), o aprendizado na construção naval ocorre da combinação de dois tipos de aprendizado: um Aprendizado Organizacional através de melhoria de processos e práticas e um Aprendizado do Produto, ou seja, específico do navio que está sendo construído. Uma melhora no aprendizado organizacional significa uma melhora na produtividade núcleo do estaleiro e é transferível a outros projetos. Por outro lado, uma melhora no aprendizado do navio é resultado de melhorias em uma série específica, uma vez que a produtividade do navio está sempre acima da produtividade núcleo do estaleiro e não é transferível a outros projetos. Uma importante conclusão de Craggs et al. (2004) é que estaleiros com melhores práticas constroem o primeiro navio de uma série (FOC) com produtividade próxima à curva de produtividade núcleo do estaleiro.

[Relação entre Produtividade e Adoção de Melhores Práticas] Relação entre Produtividade e Adoção de Melhores Práticas (CRAGGS et al., 2004)

Figura 6: Relação entre Produtividade e Adoção de Melhores Práticas (LAMB; HELLESØY, 2002)

Craggs et al. (2004) também informa que o ganho de produtividade em uma série pode estar variando de 10% para embarcações comerciais convenci-

onais a 40% para embarcações especiais como navios militares. No entanto, observa que uma curva de aprendizado muito íngreme geralmente é decorrente de problemas iniciais no projeto ou no estaleiro como:

- Informações de produção incompletas ou atrasadas;
- Estratégia de construção inadequada;
- Falta de padronização nos processos produtivos;
- Falta de estrutura analítica do produto;
- Complexidade da embarcação maior do que o esperado;
- Conformidade do estaleiro para a construção do tipo de embarcação;
- Falha no detalhamento das especificações no contrato;
- Projeto imaturo com grande número de revisões nas primeiras embarcações.

A partir de uma amostra de estaleiros, Lamb e Hellesoy (2002) propôs uma equação para previsão da produtividade de um estaleiro em que determinou o impacto relativo de alguns parâmetros na produtividade e chegou à conclusão que os principais itens que afetam positivamente a produtividade são: adoção de melhores práticas de produção, foco da produção em um segmento de produtos de modo a evitar segmentação da produção no estaleiro (propósito duplo), razão do total de funcionários do estaleiro pelo total de funcionários de produção (controle do indireto), integração vertical do estaleiro, total de funcionários e número de navios entregues por tipos de navios entregues. A adoção de melhores práticas foi o que mais influenciou positivamente a produtividade com um impacto de aproximadamente 40% na produtividade.

Uma questão fundamental, resultado da medição e observação do esforço produtivo de estaleiros ao longo do tempo, é que o esforço produtivo diminui conforme o estaleiro consolida suas práticas e ganha experiência. Este fenômeno, expresso através de curvas de produtividade ou curvas de aprendizado, é resultado da capacidade humana de aprender, a capacidade do coletivo formado pela força de trabalho de se auto-organizar em uma estrutura mais produtiva ao longo do tempo. Além da adoção de melhores práticas de produção, há outros fatores em comum que contribuem para o aprendizado dos estaleiros? Quais os mecanismos pelos quais o aprendizado ocorre nas organizações? Para responder estas perguntas vamos recorrer às teorias sobre o aprendizado das organizações.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA - APRENDIZADO DAS ORGANIZAÇÕES

O comportamento típico e esperado de um estaleiro bem sucedido ao longo de sua existência é a melhoria contínua de seu desempenho, conforme pode ser observado através das curvas de experiência de construtores navais já publicadas. Sabe-se, entretanto, que este padrão de comportamento pode variar e até mesmo não ocorrer dependendo das decisões tomadas pelos gestores do estaleiro e das condições criadas para o desenvolvimento da força de trabalho e para a adoção de boas práticas de construção naval. Este capítulo irá tratar das teorias desenvolvidas a partir da abordagem das curvas de aprendizado e irá buscar as causas do comportamento desejado em pesquisas sobre o aprendizado das organizações e evolução das organizações.

3.1 Curvas de Aprendizado

O efeito das curvas de aprendizado é o de que o tempo necessário para executar uma atividade diminui a uma taxa decrescente conforme aumentam as repetições da mesma atividade, ou ainda, que ganhos de produtividade são obtidos conforme uma organização duplica sua experiência de produção. A observação científica deste fenômeno da aprendizagem iniciou no século XIX, quando em 1885 o pesquisador alemão Hermann Ebbinghaus identificou o comportamento exponencial em testes de aprendizado e esquecimento. En-

tretanto, foi em 1936 que o efeito do aprendizado de uma organização foi quantificado pela primeira vez por Theodore Paul Wright ao demonstrar o efeito do aprendizado da força de trabalho na indústria aeronáutica militar, através da melhoria da produtividade da mão de obra a cada aeronave de um mesmo tipo produzida. Desta forma, o aprendizado possui duas características importantes conforme se acumula experiência de produção:

1. Redução do número de horas para realizar uma atividade
2. Diminuição da taxa de redução do número de horas para realizar uma atividade

Figura 7: Exemplo de Curva de Aprendizado e Esquecimento (BENKARD, 2000)

Após Wright, o efeito da curva de aprendizado na manufatura foi testado e comprovado em diversos setores industriais como a construção de aeronaves, construção naval, produção de derivados de petróleo, produção de energia, confiabilidade de plantas nucleares, conforme pesquisado por Argote e Epple (1990). No entanto, também verificou-se que algumas organizações tiveram pouco ou nenhum aprendizado com o ganho de experiência. Segundo Argote

e Epple (1990) estas variações no comportamento da curva de aprendizagem foram causadas por esquecimento da organização, rotatividade da mão de obra, transferência de conhecimento de outros produtos e organizações e economias de escala. Benkard (2000), assim como Wright, também estudou a indústria aeronáutica e observou variações na curva de aprendizado que definiu como esquecimento ou perda de aprendizado. Na construção naval Nagatsuka (2000) publicou as curvas de aprendizado dos estaleiros japoneses e coreanos em um horizonte de tempo de 30 anos.

Figura 8: Curvas de Aprendizado dos Estaleiros Japoneses (NAGATSUKA, 2000)

Stump (2002) fez um levantamento da força das curvas típicas de aprendizado em diversos setores industriais e encontrou: para a indústria aeronáutica 15%; para a construção naval em torno de 15% a 20%, uma vez que utiliza mais mão de obra; para uma atividade completamente automatizada 0%, pois

Figura 9: Curvas de Experiência dos Estaleiros Sul-coreanos (NAGATSUKA, 2000)

segundo o autor não há aprendizado e para atividades completamente manuais possuem uma aprendizagem em torno de 30%. Assim, considerando que níveis de automação não são os mesmos durante o processo de construção naval e que especialmente nas etapas finais há grande utilização de mão de obra, está provada a frase de Stopford (2009) de que *não importa a tecnologia, a construção naval sempre será um negócio em que alguém terá que sujar as suas mãos*.

3.1.1 Estrutura das Curvas de Aprendizado

A modelagem da curva de aprendizado através da Dinâmica de Sistemas resulta em um diagrama causal conforme o gráfico abaixo. As relações causais indicam que o efeito do aprendizado é decorrente do acúmulo de experiência e uma fração F chamada de intensidade do aprendizado que é a melho-

ria obtida a cada vez que dobra a experiência acumulada. Segundo Sterman (2000), este fator geralmente varia de 10% a 30% em uma ampla variedade de indústrias e, dependendo do objetivo da modelagem, a experiência acumulada pode ser medida através de produtos acabados ou através de horas trabalhadas.

Figura 10: Estrutura de uma Curva de Aprendizado

A função que permite calcular o efeito do aprendizado é:

$$\text{Efeito do Aprendizado} = (\text{Experiência Acumulada} / \text{Experiência Inicial})^C$$

$$C = \ln(1 - F) / \ln(2) = \text{Índice da Curva de Aprendizado}$$

$$F = \text{Intensidade do Aprendizado}$$

A experiência pode ser medida tanto em função do número de unidades

produzidas quanto pela quantidade de horas trabalhadas. No caso de um estaleiro, a experiência pode ser medida através da quantidade de embarcações produzidas, em unidades ou CGT, e, conforme a teoria das curvas de aprendizado, o aumento da experiência do estaleiro deverá resultar na consolidação de boas práticas e dos processos de construção naval. No caso de um conjunto de trabalhadores de uma indústria, a experiência pode ser medida através das quantidades de horas trabalhadas e produtivas e é um atributo daquele conjunto de pessoas, que podem ficar ou sair da empresa. São duas abordagens possíveis e que, neste trabalho, serão consideradas complementares e colocadas lado-a-lado na mesma formulação sistêmica para avaliação do comportamento dinâmico do aprendizado na produção de um estaleiro.

A intensidade do aprendizado corresponde ao coeficiente que define a força dos ganhos do aprendizado e que, naturalmente, desperta o seguinte questionamento: quais são fatores influenciam a intensidade do aprendizado? Este é justamente o ponto central que motiva a realização deste trabalho. Primeiramente, torna-se necessário ampliar a fundamentação teórica para além das curvas de aprendizado, mais especificamente para as teorias do aprendizado das organizações desenvolvidas através de abordagens sistêmicas por Senge (1990b), Kim (1993a), Nevis, DiBella e Gould (1993), Hines (1998).

Nesta seção, observou-se através da perspectiva teórica das curvas de aprendizado duas propriedades do aprendizado ao longo do tempo: redução do esforço e da taxa de esforço para realizar um trabalho. Observou-se exemplos reais de curvas que mostram os efeitos da variação do aprendizado nas indústrias naval e aeronáutica e, até mesmo, foi possível obter da literatura consultada algumas causas que influenciaram positivamente ou negativamente o comportamento das curvas de aprendizado. Mas ainda não foi perguntado... o que é o aprendizado? Segundo Senge (1990b), *fazer as per-*

guntas certas geralmente é mais importante do que ter as respostas prontas e, portanto, este é o objetivo desta seção, perguntar e dialogar para melhor entender o desafio do aprendizado nas organizações.

3.2 Aprendizado das Organizações

O aprendizado é uma necessidade de qualquer organização pois é fundamental para sua sobrevivência. Segundo Kim (1993b), todas as organizações aprendem de alguma forma, tanto as que conscientemente buscam o aprendizado quanto as que aparentemente não fazem um esforço direcionado. A diferença entre uma e outra, é que as primeiras possuem mais chances de desenvolverem as competências certas para atingirem seus objetivos, enquanto as outras podem estar mais suscetíveis à aquisição de hábitos divergentes do objetivo desejado.

A interessante constatação de que todas as organizações aprendem, permite entendermos o aprendizado organizacional como uma forma de auto-organização dos sistemas organizacionais que, no limite, corresponde à evolução das organizações. Segundo Meadows (2008) a auto-organização é a capacidade de um sistema aumentar sua complexidade e modificar sua própria estrutura. É uma propriedade muito comum, especialmente nos sistemas naturais, e que pode operar grandes mudanças através de regras muito simples. A auto-organização é a maravilhosa habilidade dos sistemas complexos de aprender, diversificar e evoluir. Na natureza, há inúmeros exemplos, por exemplo a existência de milhões de espécies diferentes todas formadas por um conjunto de elementos orgânicos e sua paulatina evolução nos diferentes ecossistemas do planeta, a auto-organização mecânica das moléculas de água na admirável geometria dos cristais de gelo e a auto-organização da mente humana em bebês que aprendem a falar.

Meadows (2008) também observou que, como ocorre com a resiliência, a auto-organização normalmente é sacrificada em função de produtividade e estabilidade de curto prazo. Segundo esta pesquisadora, produtividade e estabilidade são as desculpas usuais para limitar seres humanos criativos a componentes mecânicos de um processo produtivo. Ou ainda, para estabelecer burocracias e teorias do conhecimento que tratam as pessoas como se fossem números. Felizmente, a auto-organização e a aprendizagem, por mais que eventualmente venha a ser inibida por excesso de ordem, é uma propriedade tão presente nos sistemas que é improvável que seja completamente eliminada. Em condições propícias, com alguma liberdade para concepção e espaço para experimentação (ou ciclo de aprendizagem), pode sempre resurgir para fazer os sistemas progredirem.

Aprendizado, segundo Senge (1990b), é mais do que simplesmente adaptar-se ou obter informações. Aprender está muito mais relacionado a ganhar competências, desenvolver habilidades, criar e adquirir a capacidade de criar o que anteriormente você não era capaz de criar. Desta forma, o processo de aprendizado, está intimamente ligado à ação. É o clássico exemplo de aprender a andar de bicicleta, não basta explicar como equilibrar-se, assim como não será suficiente para o real aprendizado a utilização do apoio de uma pessoa ou de rodinhas. O aprendizado irá efetivamente ocorrer quando a pessoa se lançar no espaço, ganhar velocidade, sentir a diferença entre a estabilidade dinâmica e estática, acumular experiências reais e construir suas rotinas de pensamento e ação até que o ato de andar de bicicleta se torne natural para o pensamento e seja executado de forma automática pelo corpo. Kim (1993a) resume aprendizado como aumentar a capacidade de alguém de tomar ações efetivas.

3.2.1 Características das Organizações de Aprendizagem

Segundo Senge (1990a) as organizações de aprendizagem correspondem àquelas capazes de melhorar continuamente a sua capacidade de criar. Segundo Nevis, DiBella e Gould (1993), as organizações como sistemas de aprendizagem possuem processos formais, informais e estruturas que tornam disponíveis e possibilitam a aquisição, o compartilhamento e a utilização de conhecimentos e habilidades. As organizações de aprendizagem são aquelas que buscam conscientemente o aprendizado e efetivamente atuam para aumentar a sua capacidade, ou seja, sua capacidade de criar e desenvolver as competências essenciais que a farão melhor desempenhar sua função e superar seus objetivos.

Todas as organizações aprendem, no entanto, nem todas as organizações sobrevivem,. Isto ocorre em função das deficiências de aprendizado com relação a um determinado objetivo como: atrasos e lentidão do aprendizado em relação à mudança do ambiente, falha na retenção do aprendizado obtido, também chamado por Benkard (2000) por esquecimento organizacional, ou ainda pode-se aprender hábitos e adquirir rotinas que geram efeitos contrários ao aprendizado pretendido e desviam o rumo da organização. Faz-se, portanto, necessária a distinção das organizações que aprendem e são bem sucedidas no longo prazo, que são chamadas de organizações de aprendizagem.

3.2.2 Modelos de Organizações de Aprendizagem

As pesquisas realizadas por Senge (1990b), Kim (1993a) e Nevis, DiBella e Gould (1993) citam e desenvolvem modelos de organizações de aprendizagem que ajudam a entender os fatores que influenciam e como ocorre o

processo de aprendizado desde o indivíduo até o aprendizado de toda a organização. Estes modelos servirão de subsídio para a modelagem do aprendizado nas etapas seguintes deste trabalho.

3.2.3 Modelo de Aprendizagem Individual

Conforme Kim (1993b), as organizações aprendem, em sua origem, através do aprendizado individual de seus funcionários e que, através de modelos mentais compartilhados, pode ocorrer a transferência de aprendizado individual para o aprendizado organizacional. Assim, é importante entender o papel do aprendizado individual para entendermos o aprendizado nas organizações. Segundo Kim (1993a) a teoria de aprendizagem experiencial é a escola de pensamento que melhor considera os dois aspectos, conceitual e operacional, do aprendizado. Alguns teóricos desta escola como Lewin, Deming e Kofman descreveram o aprendizado como o processo cíclico de uma pessoa ter uma experiência concreta, refletir e interpretar esta experiência, formular conceitos abstratos e generalizações a respeito e testar estas ideias em uma nova situação que irá proporcionar uma nova experiência concreta e assim por diante.

Por simplicidade, sempre que for feita referência ao ciclo de aprendizado experiencial, iremos utilizar a nomenclatura de Kofman, ou seja, o ciclo OADI que na língua inglesa significa (*Observe, Assess, Design, Implement* e que será traduzido para a língua portuguesa como Observar, Avaliar, Desenhar e Implementar. Desta forma, ao percorrerem o ciclo de aprendizado pela experiência, as pessoas estão constantemente formulando novos conceitos e tendo novas experiências concretas, o que nos permite fazer um paralelo e a dependência mútua existente entre o *know-why* e o *know-how* de uma atividade.

Para Kim (1993a), além deste processo de contínua conceituação e experi-

Figura 11: Ciclo de Aprendizagem Experiencial (KOFMAN, 1992) *apud* (KIM, 1993a)

mentação, a aprendizagem também está relacionada um elemento importante que é a memória. Apesar de haver uma distinção clara entre aprendizado, que está mais relacionado à aquisição de conhecimento, e memória, mais relacionada à retenção do conhecimento, ambos estão intimamente relacionados uma vez que o que aprendemos afeta nossa memória e nossa memória afeta o que aprendemos. Segundo Kim (1993a), a memória não é estática e, como possui um papel ativo no processo de aprendizagem, é melhor descrita através do conceito de modelo mental. Senge (1990b) define modelo mental como ideias profundamente arraigadas em nosso pensamento sobre o funcionamento do mundo e que possuem uma poderosa influência no que fazemos uma vez que também influenciam o que vemos.

Assim como a aprendizagem possui dois níveis distintos, conceitual e ope-

racional, segundo Kim (1993b) os modelos mentais também possuem duas partes distintas relacionadas respectivamente a estes níveis de aprendizagem. O aprendizado operacional, obtido através de uma sequência de experimentações, é capturado pelo modelo mental através de rotinas e hábitos, ou seja, de maneiras usuais de ação que devido sua recorrência não demanda o mesmo esforço do pensamento quando foram executadas pela primeira vez. O aprendizado conceitual, por sua vez, está relacionado à razão de uma atividade, aos motivos que podem inclusive questionar os procedimentos e conceituações existentes e levar a novas concepções das ideias que compõem o modelo mental. Assim, o aprendizado conceitual resulta em um *framework* que corresponde a um quadro mental que representa o hábito dos nossos pensamentos, a maneira usual de pensamento que produz opiniões e decisões baseadas no nosso modelo de mundo. Desta forma, Kim (1993a) propôs um modelo de aprendizado individual resultante da síntese do ciclo de aprendizagem pela experiência integrado com um modelo de memória na forma de modelo mental individual composto por estes dois elementos, *frameworks* e hábitos, conforme mostrado na 12 que chamaremos de ciclo OADI-MMI (Observar, Avaliar, Desenhar e Implementar $\leftrightarrow$ *ModeloMentalIndividual*).

Segundo Kim (1993a) o modelo mental representa um papel fundamental no aprendizado organizacional, pois através do modelo mental é que ocorre a transferência do aprendizado individual para o aprendizado organizacional.

3.2.4 Modelo de Aprendizagem Organizacional

A transferência do aprendizado individual para o aprendizado organizacional envolve um paradoxo uma vez que, com organizações cada vez maiores, aumenta o distanciamento do aprendizado individual para o aprendizado organizacional a ponto de não acontecer nada se a organização perder alguns

Figura 12: Ciclo de Aprendizagem Individual OADI-MMI (KIM, 1993a)

funcionários mas ainda sim continuar dependendo do conhecimento de todos os funcionários. Segundo Kim (1993b), conforme as organizações crescem também surgem sistemas para capturar o aprendizado individual e transferi-lo para a organização. É por isso que processos organizacionais e procedimentos operacionais são vistos como importante parte da memória da organização e um repositório ou estoque do aprendizado incorrido, mas também podem ser perigosos quando a organização se torna tão institucionalizada que não consegue reagir a tempo e aprender novos procedimentos quando o ambiente muda radicalmente.

Isto posto, Kim (1993a) propôs um modelo integrado de aprendizagem organizacional que, através de modelos mentais compartilhados, é possível a transferência do aprendizado individual para um aprendizado da organização. Desta forma, é possível explicar porque uma organização pode aprender

unicamente através de cada um de seus membros individuais e, ao mesmo tempo, não ser dependente de nenhum membro em específico. O modelo mental compartilhado de uma organização é o conjunto de conceitos e práticas, e como as práticas se adéquam aos conceitos formulados, adotados de forma generalizada na organização. O modelo mental compartilhado corresponde ao piloto automático da organização e seus reflexos perante as situações enfrentadas e as alterações de ambiente. Desta forma, o modelo de aprendizado organizacional proposto por Kim (1993a), que é integrado com o modelo de aprendizado individual OADI-MMI, está representado 13 ao qual chamaremos de ciclo OADI-MMC (Observar, Avaliar, Desenhar, Implementar e Modelo Mental Compartilhado).

Figura 13: Ciclo de Aprendizagem Individual OADI-MMC (KIM, 1993a)

PARTE II

METODOLOGIA DE PESQUISA ATRAVÉS DA DINÂMICA DE SISTEMAS, FORMULAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO

4 METODOLOGIA DE PESQUISA

Segundo Senge (1990b), o pensamento sistêmico é uma disciplina para ver o todo e a metodologia escolhida para estudar o comportamento dinâmico associado ao aprendizado do estaleiro foi a simulação através da Dinâmica de Sistemas. A partir da essência do Pensamento Sistêmico e dos princípios e técnicas da Dinâmica de Sistemas, foi realizada formulação de um modelo de simulação no software Vensim capaz de replicar o comportamento de um estaleiro real e permitir a simulação de políticas favoráveis ao aprendizado de um sistema do mesmo tipo. A Dinâmica de Sistemas, concebida pelo professor Jay W. Forrester do Massachusetts Institute of Technology a partir da década de 50, corresponde a uma vasta base de conhecimentos e ferramentas para o estudo e simulação de sistemas complexos e a elaboração de um modelo formal de simulação é uma técnica amplamente utilizada para o estudo da estrutura do sistema, seus elementos e relações, e a avaliação de seu comportamento, especialmente no que se refere às decisões dos agentes do sistema e suas consequências. Foi assim que Forrester (1961) iniciou a base teórica da Dinâmica de Sistemas. A partir de um trabalho de consultoria feita para uma planta industrial na década de 50. Forrester estudou a estrutura de contratação e demissões e surpreendeu ao demonstrar que a instabilidade nos empregos era causada por fatores internos e não por causa de oscilações na demanda de mercado como se imaginava. Desta forma, Forrester demonstrou que a empresa precisava promover a transformação de si mesma, assim

como as pessoas envolvidas nos fatores identificados, para resolverem o problema sistêmico.

Há grande vantagem em simular políticas e decisões em um ambiente virtual antes de aplicá-las no mundo real. Um benefício evidente é a possibilidade de avaliar os efeitos colaterais, contra-intuitivos e possivelmente não desejados das futuras políticas sem assumir os riscos ou os custos das mesmas no ambiente real. No entanto, as maiores contribuições deste método, são a experiência e conhecimentos gerados nos agentes do sistema que experimentam a simulação e pouco a pouco ampliam sua perspectiva ao colocar à prova seus próprios modelos mentais e, eventualmente, até mesmos seus princípios e seus valores. Assim, a maior contribuição do pensamento sistêmico é a transformação que pode causar nas pessoas a partir da perspectiva sistêmica e, como visto nas teorias das organizações de aprendizagem, a transformação das pessoas podem por sua vez contribuir com a transformação das organizações e dos sistemas sociais que fazem parte. O próprio processo de modelagem também contribui com esta transformação e promove ao modelador rica oportunidade de ampliar seus conhecimentos e percepções sobre o sistema ao comparar como diferentes estruturas alteram o comportamento dos sistemas virtual e real.

4.1 Processo de Modelagem

O processo de modelagem em Dinâmica de Sistemas é cíclico e demanda várias iterações de observação do sistema real, entendimento da estrutura do sistema, revisão da formulação do modelo, simulação e comparação dos sistemas que resultará em nova maneira de enxergar o sistema real e assim por diante. A figura 14 mostra o processo de modelagem proposto por Sterman (2000). É curioso observar, não por mera coincidência, que existe uma inte-

ressante correspondência do ciclo do processo de modelagem com o ciclo de aprendizagem por experiência OADI explicado no capítulo 3. De fato, a modelagem é uma prática que acumula experiência virtual e gera aprendizado sobre o sistema real, sendo que a cada rodada de simulação corresponde a uma oportunidade do modelador ou do utilizador do modelo de aprofundar seu conhecimento sobre o sistema.

Figura 14: Processo de Modelagem

Os cinco passos do processo de modelagem e utilizado para a concepção do modelo utilizado nesta pesquisa são:

- **Definição do Problema e Seleção de Fronteira:** a definição do problema corresponde à razão do modelo existir uma vez que a existência do problema é que motiva a revisão e transformação do sistema e a seleção de fronteiras é fundamental para garantir que o problema é originado de forma endógena pela estrutura do sistema. Estas definições fornecem importante orientação para o mapeamento da estrutura que irá gerar o comportamento do sistema. Corresponde à etapa *Assess* do ciclo de

aprendizagem OADI.

- **Formulação da Hipótese Dinâmica:** primeiro passo da formulação, é a formulação da hipótese que explica o comportamento dinâmico observado do sistema. A hipótese dinâmica é revisada sempre que o comportamento do modelo resultante desviar do comportamento do sistema real até que se tenha uma hipótese válida. Corresponde à etapa *Design* do ciclo de aprendizagem OADI.
- **Formulação do Modelo de Simulação:** segundo passo da formulação, corresponde ao mapeamento dos estoques, fluxos, variáveis auxiliares e suas relações causais que irão resultar em mapas sistêmicos com ciclos de reforço e ciclos de balanço, relações com atrasos e relações não-lineares. Os mapas sistêmicos, representados como diagramas de estoques e fluxos, evoluem para um modelo formal de simulação que permite avaliar o comportamento do sistema virtual concebido. Corresponde à etapa *Assess* do ciclo de aprendizagem OADI.
- **Testes e Validação:** testes realizados para garantir a aderência do comportamento do modelo com o comportamento observado do sistema real. A estrutura interna do modelo deve ser responsável por reproduzir o comportamento característico do sistema real. Corresponde à etapa *Implement* do ciclo de aprendizagem OADI.
- **Delineamento de Políticas:** análise criteriosa do sistema feita com o objetivo de encontrar soluções para o problema sistêmico tendo em vista o conhecimento adquirido sobre as causas do comportamento não desejado e sobre os pontos de maior alavancagem na estrutura que podem direcionar as mudanças necessárias do sistema. Corresponde à etapa *Observe* do ciclo de aprendizagem OADI.

Finalmente, se for comparado o ciclo de modelagem com o modelo de aprendizagem individual proposto por Kim (1993a) OADI-IMM, o modelo formal de simulação faz o papel da memória no processo de modelagem uma vez que sua estrutura, especialmente de decisão, representa o modelo mental dominante no sistema.

4.2 Definição do Problema

Forrester (1998), em seu discurso *Designing the Future*, orientou que um projeto de dinâmica de sistemas sempre deve começar a partir de um problema existente ou a partir de um comportamento não desejado do sistema que deve ser corrigido ou evitado. Sterman (2000) posteriormente reforçou a colocação de Forrester afirmando que os praticantes da dinâmica de sistemas devem tomar cuidado para que não sejam atacados problemas que nunca existiram. Esta é uma questão fundamental pois se refere à razão de existir do modelo e também da própria Dinâmica de Sistemas, criada para a solução de problemas reais sob a perspectiva sistêmica, o que inevitavelmente nos faz recair sobre a questão de melhoria da vida em sociedade, das relações entre povos, das relações entre atividades humanas e o ambiente natural, enfim a solução de problemas sistêmicos reais nos leva pouco a pouco à melhoria do sistema maior em que estamos inseridos.

O problema selecionado para o desenvolvimento desta pesquisa corresponde às condições que resultam baixo aprendizado organizacional, neste caso aplicado à realidade de uma planta de construção naval. A razão da escolha deste tema é a frase de Meadows (2008) de que "Pessoas aprendem, Organizações resistem". Por aprendizado organizacional entende-se à composição do aprendizado permeado em rotinas e processos do estaleiro, quando o conhecimento está consolidado e arraigado na forma de trabalhar

da organização, e do aprendizado pertencente à força de trabalho, quando o conhecimento independe dos processos, mas das habilidades, das decisões e da ação direta dos trabalhadores. A força de trabalho corresponde ao conjunto de pessoas, tanto trabalhadores da base operacional quanto trabalhadores do topo gerencial e corporativo. O aprendizado da força de trabalho corresponde, portanto, ao modelo mental compartilhado e dominante dentre as pessoas da organização conforme modelo de aprendizado proposto por Kim e Senge (1994)

Através da abordagem deste problema pretende-se compreender os fatores da atividade de construção naval, independente do país ou região, que podem levar este aprendizado a se comportar de forma diferente da expectativa usual, geralmente feita à imagem da curva de experiência dos estaleiros bem sucedidos no mundo. É assunto relevante para a sociedade pois diversas decisões de investimentos e definição de políticas industriais, normalmente envolvendo recursos públicos arduamente conquistados pela população, são tomadas com bases nessas expectativas de aprendizado.

Para a compreensão e estudo do problema será elaborado um modelo de simulação aderente tanto com o comportamento não desejado quando com o desempenho histórico de um estaleiro estabelecido e a partir da base de conhecimentos sistêmicos disponíveis através da Dinâmica de Sistema serão estudadas políticas que favoreçam o equilíbrio entre o aprendizado da força de trabalho e o aprendizado corporativo em um estaleiro.

4.2.1 Seleção de Fronteiras

O mapa de contorno do modelo, exposto na tabela 1, é uma importante ferramenta que explicita o escopo da modelagem e as fronteiras definidas para a abordagem do problema. É um importante instrumento para discussão e verifi-

cação se o problema realmente está sendo tratado de forma endógena. Neste modelo de aprendizado na construção naval foram considerados elementos endógenos: força de trabalho, produção do estaleiro, produtividade, experiência da força de trabalho, experiência do estaleiro, aprendizado das pessoas e aprendizado do estaleiro. A taxa de encomendas foi considerada uma variável exógena ao modelo uma vez que o escopo do trabalho é a avaliação de questões intrínsecas das relações entre produção, força de trabalho e produtividade. A taxa de encomendas é a principal variável de entrada do modelo pois dá origem às ordens de produção e demanda por força de trabalho

Tabela 1: Mapa de Contorno do Modelo

Endógeno	Exógeno	Excluído
Taxa de Produção	Taxa de Encomendas	Nível Tecnológico
Força de Trabalho	Produtividade do Mercado	Terceirização
Experiência das Pessoas	Rotatividade	Subsistema Financeiro
Experiência da Produção		
Aprendizado das Pessoas		
Aprendizado da Produção		
Aprendizado do Estaleiro		
Produtividade		
Tempos de Produção		

Também foi adotada como variável exógena uma produtividade de mercado a partir de dados históricos de produtividade do mercado no qual estava inserido o estaleiro adotado como modo de referência. Uma função desta produtividade de mercado foi adotada como produtividade de venda para o estaleiro virtual conseguir balancear o tamanho do seu efetivo em função de seu orçamento. Foram excluídos alguns efeitos como o nível de desenvolvimento tecnológico, quantidade de terceirização de produção e pressão no cronograma de entregas que ocasionariam horas extras e efeitos morais no desempenho do trabalhador e na qualidade do trabalho. São problemas interessantes de serem abordados futuramente, mas para esta pesquisa representariam questões muito específicas que poderiam desviar o foco do propósito

do modelo. Com isso, entende-se que os limites do modelo estão devidamente delimitados.

4.2.2 Iterações do Processo de Modelagem

Sterman (2000) afirma que a modelagem em Dinâmica de Sistemas é um processo iterativo e gradual, em que a compreensão sobre o sistema aumenta à medida que os elementos são mapeados, suas relações são descobertas e todo o sistema virtual começa a funcionar e pode ser comparado com o sistema real. O modelo formal de simulação que faz parte desta pesquisa, também foi obtido através deste processo e evoluiu paulatinamente conforme novas questões e relações eram descobertas e sua avaliação era obrigatoriamente necessária pois eram elementos endógenos que influenciavam consideravelmente o problema que estava sendo estudado. Foram realizadas, portanto, cinco iterações do processo de modelagem que geraram versões do modelo que evoluíram da seguinte maneira:

- Modelo V.1: Modelo de força de trabalho, produção e produtividade fixa exógena. Adaptado de Sterman (2000). Falha: não representava o fenômeno observado nas curvas de aprendizado dos estaleiros.
- Modelo V.2: Modelo de força de trabalho, produção e produtividade por curva de aprendizado exógena com intensidade de aprendizado constante. Falha: curva de produtividade exógena não permite avaliar o problema endógeno de variação no aprendizado.
- Modelo V.3: Modelo de força de trabalho, produção e produtividade por curva de aprendizado dependente da experiência endógena da produção acumulada e intensidade de aprendizado constante. Falha: desempenho direto da construção naval não depende somente do aprendizado

transformado em rotinas e processos, mas também da experiência e aprendizado da força de trabalho que interfere na intensidade de aprendizado do estaleiro, até então exógena.

- Modelo V.4: Modelo de força de trabalho, experiência da força de trabalho, curva de aprendizado da força de trabalho com experiência endógena e intensidade exógena, produção, experiência de produção, curva de aprendizado da produção com experiência endógena e intensidade parcialmente endógena e produtividade resultado da composição das curvas de aprendizado da produção e da força de trabalho. Falha: não considera na modelagem o elemento que representa a memória compartilhada do sistema, que é fundamental para a correta transferência do aprendizado.
- Modelo V.5: Modelo de força de trabalho, experiência da força de trabalho, curva de aprendizado da força de trabalho com experiência endógena e intensidade exógena, produção, experiência de produção, curva de aprendizado da produção com experiência e intensidade endógena, estoque representando a memória compartilhada do estaleiro e produtividade resultado da composição das curvas de aprendizado da produção e da força de trabalho conforme o nível da memória compartilhada (quando maior a memória compartilhada, maior a consolidação de rotinas e processos). Este é o modelo final obtido cuja formulação será apresentada no capítulo seguinte.

Deste processo, pode-se concluir que nenhum modelo é perfeito. Inclusive, esta sequer é a proposta das modelagens através da Dinâmica de Sistemas, pois se os modelos fossem perfeitos, eles seriam tão complexos quanto à realidade e seriam condenados à inutilidade para o entendimento e avaliação dos problemas reais. Através de cada iteração, tentou-se obter o modelo

mais simples possível que representasse com fidelidade o comportamento não desejado e que permitisse o benéfico diálogo a respeito dos aspectos bons e ruins da produtividade, a identificar a origem do aprendizado nas pessoas e reconhecer a importância do desenvolvimento das pessoas para a solução dos problemas sistêmicos, a dialogar sobre o equilíbrio nas relações e como as rotinas podem incentivar o aprendizado libertador ou escravizar pelo procedimento inflexível. Há ainda fatores exógenos, de extrema importância, gerado pelo relacionamento entre a força de trabalho e os formuladores de políticas ou pelo relacionamento entre o estaleiro e seus concorrentes, fornecedores e clientes. A qualidade destes relacionamentos, como a cooperação mútua e transparente, pode influenciar positivamente a intensidade dos aprendizados, que estão entre os principais pontos de alavancagem deste sistema. A origem destes fatores reside na essência dos relacionamentos, ou seja, nos valores das pessoas e nos valores corporativos das organizações. Apesar de não serem fatores quantificáveis, merecem ser lembrados, pois mesmo se tivermos o melhor modelo de simulação possível, não será possível transcender as estruturas do sistema se não forem trabalhadas as essências das organizações.

5 FORMULAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO

Este capítulo descreve a hipótese dinâmica, os subsistemas e suas estruturas que juntas correspondem ao modelo de simulação utilizado para o estudo do comportamento dinâmico e das variações do aprendizado de um estaleiro e sua força de trabalho. Também são apresentados os testes de validação tanto para verificação da aderência do modelo à hipótese dinâmica e ao comportamento real de estaleiros escolhidos como modo de referência e que também auxiliaram na calibração do modelo.

5.1 Formulação da Hipótese Dinâmica

A hipótese dinâmica do modelo, representada na 15, é a hipótese de que a produtividade varia ao longo do tempo sob a forma de uma curva de aprendizado resultante da composição dos efeitos do aprendizado organizacional que ocorre sob a forma de rotinas e processos da organização e do aprendizado da força de trabalho que ocorre através do aumento das habilidades, competências e conhecimentos intrínsecos da força de trabalho e que, após o atraso decorrente da difusão do aprendizado entre todas as pessoas e da adoção e formalização das práticas, são transferidos à organização. Estes dois tipos de aprendizado são influenciados cada um por dois fatores, o acúmulo de experiência e a intensidade do aprendizado.

O aprendizado da força de trabalho, por sua vez, ocorre através da es-

trabalho.

Enfim, o desempenho da produção aliado às decisões relativas às metas de produção e de gestão da força de trabalho, dependendo das políticas formuladas pelos tomadores de decisão, podem conduzir a um resultado melhor ou pior para o desempenho de longo prazo da organização.

5.2 Subsistemas do Modelo

A formulação do modelo foi iniciada a partir da hipótese dinâmica para o sistema estudado conforme anunciada na seção 5.1 e representada na figura 15 de forma que o primeiro passo é distinguir os seguintes elementos-chave da modelagem: Força de Trabalho, Taxa de Produção e Produtividade. Estes três elementos fazem parte, cada um, de um respectivo subsistema que correspondem a divisões do sistema em estudo e que atendem à seguinte definição:

Subsistema: É um conjunto de elementos contidos em um sistema, coerentemente organizados e interconectados em uma estrutura própria que produz um comportamento característico, correspondente à sua função ou propósito dentro do sistema a que pertence. (Adaptado de Meadows (2008))

Cada um destes subsistemas, portanto, possuem as mesmas características dos sistemas, ou seja, são estruturas com elementos que se relacionam através de ciclos fechados e possuem um determinado comportamento dinâmico dependendo de sua função. Os três subsistemas de um estaleiro e suas respectivas funções são:

1. Subsistema de Produção: têm a função de transformar ordens de produ-

ção em produtos intermediários e produtos acabados. Consiste de ciclos de balanço responsáveis por controlar os dois estoques de produção, de trabalhos em processamento e de trabalhos concluídos ou aprovados. O subsistema de produção também é formado por um estoque que representa a experiência de produção, correspondente à taxa de entregas acumuladas indefinidamente.

2. Subsistema de Força de Trabalho: têm a função de prover esforço proveniente da força de trabalho para a produção e conforme sua projeção de utilização de mão de obra. Consiste em ciclos de balanço correspondente aos processos de contratação, demissão e limitação das contratações em função do orçamento de horas disponíveis para a realização dos projetos. O subsistema de Força de Trabalho também é formado por um estoque que representa a soma das experiências individuais da força de trabalho e que, portanto, é variável conforme ocorre a rotatividade de funcionários e conforme os trabalhadores contratados acumulam experiência de produção no próprio estaleiro.
3. Subsistema de Aprendizado: formado pela produtividade resultante da composição dos aprendizados da Força de Trabalho e da Produção. Cada aprendizado possui dois atributos, um relacionado à experiência e outro relacionado à intensidade do aprendizado, conforme a formulação das curvas de aprendizado apresentadas na seção 3.1 do capítulo 3. Neste modelo, possui a função da aprendizagem com objetivo único em adquirir produtividade.

Uma vez mapeados os elementos-chave e seus subsistemas é possível entender como estão relacionados. A maneira mais prática para se descrever o relacionamento entre subsistemas é a elaboração de um diagrama de subsistemas conforme a figura 16. O diagrama fornece a exata configuração das

Figura 16: Diagrama de Subsistemas

interfaces de cada subsistema, que estão intimamente relacionadas às suas funções.

5.3 Estrutura do Modelo

O modelo de Dinâmica de Sistemas que descrito nesta seção foi elaborado, executado e analisado através da utilização do programa de simulação VENSIM, versão 5.9e para uso acadêmico e desenvolvido pela Ventana Systems Inc. A documentação completa da formulação do modelo, extraída do próprio programa, pode ser consultada no apêndice A desta dissertação.

O modelo formulado é constituído por um conjunto de quatro estruturas, a saber, as três estruturas de subsistemas mencionadas na seção 5.2 e uma estrutura de entrada, representada na 17, formada pelos pelo estoque da carteira de encomendas do estaleiro e suas respectivas taxas (taxa de encomendas e taxa de entregas) e pelo estoque que representa a capacidade do estaleiro, utilizando o critério proposto por Stopford (2009) de que a capacidade do estaleiro pode ser definida como o valor máximo de entrega anual na última década de operação do estaleiro.

Figura 17: Modelagem da Carteira e Capacidade

5.3.0.1 Subsistema de Produção

O Subsistema de produção foi modelado a partir da estrutura clássica de gerenciamento de estoques em Dinâmica de Sistemas, conforme publicado por Sterman (2000). No sistema real, equivale ao fluxo material que ocorre desde o início da produção com o processamento do aço, passando pelos processos sequenciais de sub-montagem e fabricação de perfis e painéis, montagem de blocos, acabamento avançado, pré-edificação e edificação de blocos. Após o término da edificação, há um período final de completação do trabalho, correspondente à integração e comissionamento dos sistemas do navio ou plataforma, após o qual o fluxo material é finalizado com a entrega do produto ao cliente.

Assim, no modelo, o Subsistema de Produção, representado pela figura 18, consiste na estrutura responsável por:

- Receber as ordens de produção originadas da taxa de encomendas do estaleiro,
- Fornecer a demanda de mão de obra para o Subsistema da Força de

Figura 18: Modelagem da Produção

Trabalho,

- Realizar a produção com base na mão de obra disponível e produtividade do estaleiro,
- Realizar os ajustes dos estoques de produção em andamento e de produção concluída,
- Devolver uma taxa de entregas que será subtraída da carteira de encomendas do estaleiro.

Os principais elementos deste subsistema são os estoques: carteira de encomendas (ou estoque de pedidos), estoque de produção em andamento e estoque de produção concluída e seus respectivos fluxos: taxa de encomendas, taxa de produção desejada, taxa de início de produção, taxa de produção real e taxa de entregas. A partir do fluxo de entregas, foi modelado um estoque com todas as entregas acumuladas pelo estaleiro. Este estoque representa

a experiência acumulado do estaleiro em CGT e possui interface com o Sub-sistema de Aprendizado, pois influencia o aprendizado do estaleiro através da adoção de melhores práticas e rotinas e, portanto, irá influenciar na memória de produção do estaleiro.

Além a estrutura principal de controle dos estoques de produção no canto inferior direito da mesma (figura 18 há uma pequena a estrutura formada por um único fluxo de experiência e um estoque responsável pelo acúmulo de toda a experiência de produção, medida em CGT, ao longo do tempo. Esta estrutura também é considerada parte do subsistema de produção, por entender-se que a experiência de produção é um atributo do mesmo.

5.3.0.2 Subsistema de Força de Trabalho

O subsistema da força de trabalho corresponde à estrutura de estoques, fluxos e relações da figura ?? e que operam a contratação, o gerenciamento do quadro de funcionários e realizam as demissões conforme a demanda da produção. Seu processo é iniciado a partir da produção desejada que gera uma demanda de mão de obra Desejada. A partir daí, contratações ou demissões são efetuadas de forma a ajustar o estoque da força de trabalho para o valor desejado. No entanto, existe um limite ao crescimento da força de trabalho, referente ao orçamento de cada projeto e sua margem de execução. Este orçamento corresponde à capacidade de suporte da força de trabalho mantida pelo estaleiro.

A força de trabalho, assim como a produção, também acumula experiência que é um fator determinante para a aprendizagem dos funcionários. No entanto, a experiência da força de trabalho, diferentemente da experiência de produção, pode variar no curto prazo com contratações, demissões e retenção dos profissionais, uma vez que esta experiência lhes pertence. Sua estrutura

está mostrada na figura 20 e seu comportamento é influenciado pela da quantidade de profissionais e pela qualificação média dos mesmos, assim como das contratações e a qualificação média de novos contratados.

5.3.0.3 Subsistema de Aprendizado

O Subsistema de Aprendizado mostrado na figura 21 consiste na propagação dos efeitos de aprendizado decorrente tanto da experiência acumulada pelo estaleiro a cada entrega de navio quando da experiência acumulada pela força de trabalho a cada hora produtiva trabalhada. A teoria das curvas de aprendizado atestam que, conforme a experiência dobra de valor, ocorre um aprendizado em uma determinada taxa que é decrescente no tempo e representa a intensidade do aprendizado.

A intensidade ou força do aprendizado do estaleiro, gera uma memória produtiva formada pela consolidação das práticas e rotinas de construção naval. Os extremos desta memória que representa a ausência de ou excesso de processos e rotinas. Por outro lado, que há objetivo comum, o aprendizado da força de trabalho, influencia positivamente, porém com atraso, o aprendizado do estaleiro. Este atraso é decorrente do tempo necessário para a transferência do aprendizado individual para o aprendizado organizacional e para a adoção formal da nova rotina.

5.4 Testes para Validação do Modelo

A validação é etapa fundamental no processo de modelagem e tem o objetivo de verificar a aderência de comportamento do modelo com o sistema real. Corresponde à confirmação de que a modelagem feita foi capaz de reproduzir as estruturas endógenas que geram o comportamento observado e,

desta forma, conferir credibilidade para o posterior uso do modelo para simular políticas e projetar alterações estruturais que contribuam para a melhoria do sistema.

Além de necessário, o processo de validação mostrou-se extremamente oportuno para aumentar o aprendizado sobre o sistema e estimulou sua evolução do modelo ao despertar questões que não apareceriam sem a experiência da simulação através dos testes de diferentes premissas.

Foram escolhidas três variáveis chave para a calibração e validação do modelo: Carteira de Encomendas, Taxa de Entregas e Produtividade, a partir de dados disponíveis no mercado ou em publicações, que em conjunto são suficientes para determinar o comportamento do sistema em estudo. Neste capítulo serão apresentados os dados do estaleiro de referência e os resultados da simulação em comparação com os dados reais.

5.4.1 1º Teste - Verificação com a Hipótese Dinâmica

O primeiro teste de simulação, cujos gráficos estão apresentados na figura 22, consiste na verificação como o modelo se comporta com relação à hipótese dinâmica. Para tal, foi gerada uma demanda constante de 180.000 CGT/ano, o que equivale a seis navios petroleiros capazes de transportar um milhão de barris de óleo, e o comportamento esperado era que o sistema buscasse o equilíbrio, lembrando que, no caso, o ponto de equilíbrio é móvel pois acompanha o aprendizado do estaleiro. Conforme se observa dos resultados apresentados a seguir, a taxa de entregas de produção assim como o estoque e experiência da força de trabalho atingiram o um equilíbrio a partir do décimo ano de operação. Além disso a produtividade melhorou na forma de uma curva de aprendizado gerada a partir das experiências do estaleiro e da força de trabalho, conforme anunciado na hipótese dinâmica.

5.4.2 2º Teste - Verificação com o Comportamento Não Desejado

O segundo teste da simulação, apresentado através da figura 23, consistiu na verificação de como o modelo se comporta de acordo com o comportamento não desejado, que no caso representa o problema definido no capítulo 4 e que motivou a formulação deste modelo. O problema foi definido como o baixo ou insuficiente aprendizado organizacional de um estaleiro, causado por fatores endógenos a serem estudados, e que pode comprometer a viabilidade do sistema no longo prazo. Também foi gerada uma demanda constante de 180.000 CGT/ano, mas o comportamento observado foi que houve deterioração do orçamento que por sua vez limitou a produção e forçou um ciclo vicioso de redução de força de trabalho, perda de experiência, e perda de aprendizado que conduziu o sistema ao colapso a partir do vigésimo ano. O sistema, pois, comportou-se de forma aderente ao comportamento não desejado.

5.4.3 3º Teste - Comparação com Modo de Referência

O terceiro teste, cujos gráficos estão mostrados na figura 24, consistiu na comparação com dados reais de um estaleiro escolhido como modo de referência. O principal requisito utilizado na escolha de um estaleiro que pudesse servir de modo de referência foi a disponibilidade de dados de produção (taxa de encomendas, carteira e entregas) em um horizonte de tempo suficiente para uma análise de sua curva de aprendizagem e que houvesse a disponibilidade de dados históricos de produtividade no mesmo período. Como foram publicadas as séries históricas da produtividade média dos principais estaleiros japoneses e coreanos em estudo realizado por Nagatsuka (2000) escolheu-se o estaleiro sul-coreano Samsung Heavy Industries. Para a validação foram também utilizados dados históricos da Clarksons, referentes a navios em operação construídos pela SHI e a navios em carteira. Foi selecionado o horizonte de tempo de 40 anos, ou seja, de 1980 a 2019, e não foi assumida nenhuma encomenda adicional a partir de Abr/2011, data de coleta dos dados.

Pode-se observar na comparação dos resultados do modelo com o modo de referência, que foi possível replicar o comportamento do sistema real com um nível de aderência aceitável para os propósitos deste trabalho. O auge da força de trabalho atingiu níveis coerentes com o tamanho do estaleiro e a sua curva apresentou oscilações a cada sete anos estimuladas pelas variações nas taxas de encomendas por provável influência dos ciclos econômicos. O modelo mostrou como estas variações afetaram o aprendizado no período simulado e podem explicar as variações nas curvas reais de produtividade dos estaleiros.

Este estaleiro, pelo grande aprendizado observado e pelo tempo de existência, certamente adotou políticas de produção e de gestão da força de tra-

balho que foram bem sucedidas. Considerando que este e outros bem sucedidos, tornaram-se organizações de aprendizagem, será explorado através do modelo quais são os princípios que podem resultar em um comportamento favorável ao aprendizado.

Figura 19: Modelagem da Força de Trabalho

Figura 20: Modelagem da Experiência da Força de Trabalho

Figura 21: Modelagem do Aprendizado

Figura 22: Validação com a Hipótese Dinâmica
Resultados do Primeiro Teste - Validação com a Hipótese Dinâmica

Figura 23: Validação com o Comportamento Não Desejado
Resultados do Segundo Teste - Validação com o Comportamento Não Desejado

Figura 24: Validação com Modo de Referência
Resultados do Terceiro Teste - Validação Modo de Referência

PARTE III

ANÁLISE E DISCUSSÃO DO MODELO E SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS

6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DO MODELO

Após os resultados preliminares obtidos no processo de validação do modelo, faz-se necessária uma análise mais aprofundada das suas potencialidades e limitações com relação à aplicação prática no processo de planejamento de novos empreendimentos de construção naval ou na gestão estratégica de estaleiros em operação atualmente. Serão tomados como referência os objetivos anunciados no capítulo 1, relacionados abaixo:

1. Simular o comportamento dinâmico da produção, da força de trabalho e da produtividade em um estaleiro.
2. Demonstrar, através da simulação, os efeitos qualitativos do acúmulo de experiência e do aprendizado na produtividade de um estaleiro.
3. Avaliar cenários a partir do comportamento dinâmico observado e obter diretrizes que favoreçam a sustentabilidade do estaleiro no longo prazo.

Nas seções seguintes será realizada uma discussão a respeito dos dois primeiros itens anunciando nos objetivos acima. A avaliação de cenários e as recomendações para o aprendizado em produtividade de um estaleiro serão realizadas no capítulo 7.

6.1 Comportamento Dinâmico do Estaleiro

O modelo reproduz o comportamento dinâmico de um estaleiro e, conforme observado nas simulações, possui um comportamento oscilatório amortecido. É oscilatório por razões endógenas, independente das variações de demanda, e isto ocorre em função dos atrasos do sistema, especialmente os tempos de produção e completção e os tempos de ajuste da força de trabalho. É amortecido porque o sistema sempre busca um ponto de equilíbrio e, caso não haja novo estímulo na demanda, as amplitudes das oscilações diminuem até a estabilidade. Este comportamento foi observado especialmente na taxa de entregas da produção e no estoque da força de trabalho, que são os principais elementos da estrutura de fluxo material do estaleiro e representantes de seus respectivos subsistemas.

Os comportamentos dinâmicos destes dois importantes elementos influenciam, cada um a seu modo, seus respectivos estoques de experiência. O estoque de experiência da produção, que corresponde a todas as entregas acumuladas do estaleiro desde o início da simulação, é sempre crescente e a inclinação de sua curva varia com as oscilações da taxa de produção. O estoque de experiência da força de trabalho, que corresponde à soma da experiência dos trabalhadores atuais, também assume comportamento oscilatório, pois acompanha a variação do estoque da força de trabalho com a diferença que a experiência dos trabalhadores do estaleiro aumenta com o passar do tempo, há o acréscimo de experiência de novos contratados, há uma perda de experiência por demissão e outra perda menor por depreciação da experiência. Estes estoques de experiência vão influenciar seus respectivos aprendizados.

Foi observado que o aprendizado da produção, que inclui a consolidação

de rotinas e práticas do estaleiro, demora mais para acontecer em função do valor baixo da taxa de produção no início da operação do estaleiro e do atraso da produção em conseguir duplicar a experiência nos primeiros anos. No entanto, observou-se também que o aprendizado da força de trabalho é bem intenso no início e sua curva de aprendizado apresenta oscilações geradas a partir dos ganhos e perdas do estoque de experiência da força de trabalho.

Assim, o estaleiro possui um comportamento próprio e dinâmico gerado pelas estruturas e relações entre os subsistemas de produção e da força de trabalho. Ambos os subsistemas acumulam experiência e possuem aprendizagem, de forma que se pode distinguir um aprendizado da produção, pertencente à organização, e um aprendizado da força de trabalho, pertencente a cada pessoa integrante do estaleiro.

6.2 Efeitos do Aprendizado na Produtividade

Segundo as teorias de aprendizado organizacional apresentadas no capítulo 3 o aprendizado da força de trabalho gera ações individuais dos trabalhadores relativas ao seu campo de atuação e cada um percorrendo o ciclo de aprendizagem por experiência aliado ao seu modelo mental individual, que corresponde ao aprendizado de ciclo único das organizações de aprendizagem. Entretanto, há um mecanismo de transferência destes aprendizados individuais que ocorre a partir do momento que, naturalmente ou propositadamente, começam a ser construído um modelo mental compartilhado. Estes modelos mentais compartilhados irão constituir a memória da organização, que por sua vez irá aprender através de um ciclo duplo de aprendizagem conforme o modelo de aprendizagem organizacional OADI-SMM descrito no capítulo 3.

A primeira constatação ao se analisar o subsistema de aprendizagem do

modelo é que o efeito do aprendizado na produtividade é composto por dois fatores, o efeito do aprendizado da produção e o efeito do aprendizado da força de trabalho, sendo que ambos contribuem para compor a memória do estaleiro e influenciam na produtividade. O aprendizado da força de trabalho é mais volátil se comparado ao aprendizado da produção, pois é influenciado pelas variações no estoque de experiência da força de trabalho. O aprendizado da produção, por sua vez, demora mais para ocorrer porém também é mais duradouro, podendo adicionar uma parcela de estabilidade às oscilações do aprendizado da força de trabalho. Ambos os aprendizados produzem fluxos de memória para a memória compartilhada do estaleiro, na qual ocorre o alinhamento de ambos os aprendizados, perceptível através dos fluxos de memória, e com um atraso e eventuais perdas de aprendizado, ocorre a transferência do aprendizado da força de trabalho para o aprendizado da produção.

O efeito dos aprendizados na produtividade é definido por uma composição entre o aprendizado de produção e o aprendizado da força de trabalho. Quanto maior a memória do estaleiro que gera o aprendizado de produção, maior será a padronização de processos e a consolidação de rotinas. Desta forma, no início do período simulado, a participação do aprendizado da força de trabalho exerce maior efeito na produtividade pois não há memória nem aprendizado da produção significativos. Após algum tempo, a memória de processos se consolida e o efeito do aprendizado da produção na produtividade torna-se mais relevante. No entanto, este efeito do aprendizado da produção ser mais duradouro não significa que ele é perene, pois se a força de trabalho desaprender - que significa aprender no sentido oposto - o aprendizado da produção também irá se deteriorar com o tempo.

6.3 Contribuição do Modelo

Como todo modelo, a sua aplicação prática requer um processo de aperfeiçoamento contínuo e uma utilização inicial cautelosa com a constante avaliação do comportamento previsto pelo modelo e o comportamento real dos sistemas por ele representados. E por se tratar de uma simplificação do mundo real, também é natural que haja limitações para a sua aplicação em casos reais. Por exemplo, o modelo não possibilita listar um conjunto de soluções detalhadas e especificar ações que aumentariam o aprendizado e produtividade em um determinado período. Também não é possível, neste modelo específico, avaliar que um determinado acréscimo no investimento em qualificação da força de trabalho reduziria em uma proporção definida o esforço produtivo para produzir uma embarcação. Portanto, o modelo não possui a granularidade para responder questões específicas do dia-a-dia de um estaleiro, no entanto, pode se tornar em um importante aliado para planejamento estratégico e priorização de alocação de recursos.

Este modelo também demonstra através da simulação um aspecto conceitual importante da atividade de construção naval que, se lembrado e corretamente entendido, pode evitar que um estaleiro entre em uma espiral de improdutividade por falta de aprendizado: o conceito proveniente das teorias de aprendizagem organizacional de que a origem do aprendizado está nas pessoas. Sabe-se que efeito de uma ação tomada por um gerente ou diretor é significativo devido ao poder inerente destas funções, mas também a resultante das ações somadas de vários trabalhadores tem significativa influência na definição do comportamento do sistema. Portanto, o conceito de que o aprendizado está nas pessoas, leva ao entendimento que o estaleiro deve ser pensado como um sistema de aprendizagem, em que o desenvolvimento das pessoas é realizado em todos os níveis e o aprendizado ocorre junto com o

processo de produção. É algo maior do que apenas treinar o trabalhador em uma escola ou já contratar um profissional qualificado, pois se isto acontecer e o estaleiro não for um sistema de aprendizagem, o sistema irá anular o profissional treinado ou qualificado. No capítulo 8 será retomada esta discussão a respeito da aplicação do modelo.

7 SIMULAÇÃO DE POLÍTICAS

No entendimento de Forrester (1994), a Dinâmica de Sistemas não é apenas uma metodologia, mas também uma profissão que, a partir de um problema importante, leva ao entendimento das estruturas que produzem os sintomas não desejados e busca ativamente por mudanças na estrutura ou em políticas de decisão que farão o sistema se comportar melhor. O sistema comportar-se melhor, sob a perspectiva sistêmica, significa a implementação de soluções que favoreçam o todo e que no longo prazo preserve a integridade e possibilite o desenvolvimento do sistema.

Este capítulo corresponde à busca destas melhorias através de simulações com o modelo obtido de forma que seja possível formular e propor de um roteiro com medidas que sejam favoráveis ao aprendizado de um estaleiro. Esta abordagem possui a vantagem de antecipar os problemas enfrentados por novos estaleiros que podem encontrar dificuldades para entrar em regime de operação e em consolidar seu aprendizado organizacional. O conhecimento prévio dos possíveis problemas identificados a partir da simulação pode fornecer subsídios para discussão sobre políticas de gestão dos estaleiros e sobre a aplicação de recursos ou destinação de investimentos nestas empresas.

Política é um termo amplo, mas Forrester (1994) objetivamente a define como um conjunto de regras de decisões em que informações são convertidas

em ações. Neste sentido, a descrição de uma política corresponde à discussão a respeito das razões que levaram à ação. Segundo Sterman (2000), a elaboração de novas políticas é muito mais do que mudar parâmetros da simulação, mas envolve a criação de novas estratégias, estruturas e regras de decisão. Além disso, para sistemas complexos com retroalimentação, Meadows (2008) destaca a importância de também se pensar políticas com retroalimentação uma vez que, mesmo sendo impossível ter controle absoluto dos sistemas, pode-se acompanhar o movimento dos mesmos e fazer parte da sua evolução.

Uma estratégia para se estabelecer políticas é a identificação de arquétipos e a atuação nos pontos de alavancagem do sistema. Os arquétipos de sistemas são estruturas simples e muito estudadas na Dinâmica de Sistemas, que possuem um comportamento dinâmico característico que pode esconder uma armadilha ou indicar oportunidades para que se obtenha o melhor que os sistemas podem oferecer. Os pontos de alavancagem correspondem às regiões do sistema que possuem maior potencial de mudança, e possivelmente de resistência, para se intervir nos sistemas.

7.1 Pontos de Alavancagem de um Estaleiro

Apesar dos sistemas não serem controláveis, eles podem ser pensados, projetados e redesenhados. Uma estratégia para se acompanhar a dança sistêmica, uma vez conhecidos estrutura e comportamento do mesmo, é a de pensar novas políticas que atuam em pontos chave da estrutura e, portanto, possuem maiores chances de sucesso uma vez que possuem maior influência na determinação do comportamento do sistema. Estes pontos são conhecidos por pontos de alavancagem ou alavancas do sistema. Segundo Senge (1990b), o princípio da alavancagem é fundamental no raciocínio sistêmico,

pois consiste em descobrir ações eficazes, ao invés de medidas em grande escala, e mudanças focalizadas na estrutura, que podem trazer resultados significativos e duradouros.

Meadows (2008), elaborou uma lista com os principais pontos de alavancagem para se intervir em um sistema genérico e ordenou-os do menor para o maior poder de alavancagem conforme a lista apresentada a seguir.

1. Números e Constantes
2. Tamanho dos Estoques com relação aos Fluxos
3. Estrutura de Estoques e Fluxos Materiais
4. Duração dos Atrasos
5. Força dos Ciclos de Balanço
6. Força dos Ciclos de Reforço
7. Estrutura de Estoques e Fluxos de Informações
8. Regras do Sistema
9. Poder de Auto-Organização do Sistema
10. Objetivos do Sistema
11. Mindset/Paradigma de Produção
12. Poder de Criar Novos Paradigmas

Segundo a pesquisadora, esta ordenação pode conter pequenas variações de um caso específico para outro e, portanto, esta lista é aberta para revisões pertinentes ao caso estudado. Entretanto, serve como referência para identificar alavancas nos sistemas de uma forma geral. Importante considerar

que os pontos de maior alavancagem normalmente também são os pontos de maior resistência. Por exemplo, uma mudança de paradigma certamente irá encontrar a resistência da maioria das pessoas que estiverem acostumadas ao paradigma anterior.

A primeira premissa utilizada na Simulação de Cenários foi a atuação através de alavancas do estaleiro. Baseado no mapeamento da estrutura e entendimento do comportamento através da modelagem, foram identificadas as seguintes alavancas, classificadas do menos para o maior poder de alavancagem, conforme a tabela 2.

Tabela 2: Pontos de Alavancagem do Estaleiro

Alavancagem	Alavancas do Estaleiro
Pouca	1. Capacidade Inicial de Produção e Experiência Inicial 2. Aumentar Carteira e a Capacidade de Produção 3. Alterar o Layout do Estaleiro, Alterar o Fluxo Produtivo 4. Tempos de Produção, Contratação e Aprendizado
Média	5. Respeitar Limites do Crescimento da Força de Trabalho 6. Favorecer Ciclos de Experiência e de Aprendizagem 7. Distribuir Informações e Compartilhar Conhecimentos 8. Melhoria de Processos, Rotinas e Regras de Produção
Alta	9. Investir na intensidade e retenção do aprendizado 10. Trabalhar seguindo um objetivo comum 11. Incorporar conceitos de paradigmas bem sucedidos 12. Evoluir com os outros estaleiros e a sociedade

7.2 Arquétipo de Inversão de Ônus

Outra abordagem para se pensar em soluções para o sistema é identificar a existência de arquétipos em sua estrutura. Os arquétipos correspondem a estruturas simples e conhecidas na Dinâmica de Sistemas, porém que possuem um comportamento não intuitivo. Segundo Kim (1994) os arquétipos são como roteiros dinâmicos que servem para mapear histórias e esquemas

de significativa complexidade dinâmica.

Um arquétipo existente na estrutura de um estaleiro é o Arquétipo de Inversão de Ônus, representado na figura 25 em que soluções de curto prazo podem ser priorizadas para aliviar temporariamente um sintoma em detrimento de uma solução fundamental. O problema é que estas soluções de curto prazo podem gerar efeitos colaterais que comprometem a capacidade do sistema do sistema de obter uma solução fundamental no longo prazo. Assim, esta estrutura gera um processo de dependência que pode lentamente levar à falência do sistema. Um exemplo deste arquétipo é a estrutura *Trabalhar Mais ou Trabalhar Melhor?* publicado por Repenning e Sterman (2001), que corresponde ao arquétipo Inversão de Ônus quando o sintoma é um baixo volume de produção, a solução temporária é aumentar o esforço produtivo (Trabalhar Mais) e a solução fundamental é aumentar o desempenho do sistema (Trabalhar Melhor).

Figura 25: Arquétipo Inversão de Ônus Adaptado de Senge (1990b) e Kim (1993a)

Este arquétipo é apresentado nesta seção pois serviu de guia para a simulação de cenários, no sentido de estimular a busca por soluções fundamentais.

7.3 Cenários para a Simulação de Políticas

Com o objetivo de estudar os pontos de alavancagem identificados e ter fundamentos para elaborar diretrizes para uma atuação no sistema, foram definidos seis cenários para a simulação de políticas, alguns positivos e outros negativos, cada um com uma configuração de parâmetros conforme as situações:

1. Efeito da falta de limite ao crescimento da força de trabalho
2. Aumento da taxa de aproveitamento da experiência válida para aprendizagem
3. Aumento da intensidade do aprendizado das pessoas para a cada duplicação da experiência
4. Diminuição no atraso da transferência do aprendizado da força de trabalho para a produção
5. Anular aprendizado organizacional por falha total de captação do aprendizado pela produção
6. Anular aprendizado da força de trabalho para avaliar seu efeito no restante do sistema

A tabela 3 apresenta uma configuração dos principais parâmetros que caracterizaram cada uma destas simulações:

Tabela 3: Definição de Cenários para Simulação de Políticas

Cenário	Limite ao Crescimento	Valor da Experiência	Aprendizado das Pessoas	Tempo de Transferência	Aprendizado da Produção
A	Não	20%	15%	10 anos	15%
B	Sim	80%	15%	10 anos	15%
C	Sim	80%	30%	10 anos	15%
D	Sim	80%	30%	2 anos	15%
E	Sim	80%	30%	2 anos	0%
F	Sim	80%	0%	2 anos	30%

7.4 Cenário A - Limite ao Crescimento

A figura 26 mostra os resultados do Cenário A

7.5 Cenário B - Valor da Experiência

A figura 27 mostra os resultados do Cenário B

7.6 Cenário C - Intensidade do Aprendizado das Pessoas

A figura 28 mostra os resultados do Cenário C

7.7 Cenário D - Tempo de Transferência entre Aprendizados

A figura 29 mostra os resultados do Cenário D

7.8 Cenário E - Somente o Aprendizado da Força de Trabalho

A figura 30 mostra os resultados do Cenário E

Figura 26: Simulação do Cenário A
Simulação do Cenário A

7.9 Cenário F - Somente o Aprendizado da Produção

A figura 31 mostra os resultados do Cenário F

7.10 Resultados da Simulação de Cenários

Para a simulação de cenários foram realizados seis testes em três pontos fundamentais com influência no comportamento do estaleiro: tamanho da

Figura 27: Simulação do Cenário B
Simulação do Cenário B

força de trabalho, experiência da força de trabalho e aprendizado da força de trabalho. Por força de trabalho entende-se todas as pessoas que trabalham no estaleiro. Em resumo, sob a perspectiva do modelo virtual, as conclusões dos testes realizados para favorecer o aprendizado do estaleiro foram:

1. Controlar o tamanho da força de trabalho
2. Favorecer o acúmulo de experiência
3. Estimular a intensidade do aprendizado da força de trabalho

Figura 28: Simulação do Cenário C
Simulação do Cenário C

4. Promover a transferência do aprendizado da força de trabalho para o aprendizado da produção
5. Identificar e enfraquecer as limitações ao aprendizado da produção

Estas são as diretrizes fornecidas pelo modelo. No entanto, cada um destes itens tem relação com decisões e ações que podem efetivamente contribuir para a melhoria de um estaleiro real que busca o aprendizado em produtividade. Assim, alguns itens possivelmente relacionados com as diretrizes obtidas pelo modelo, a título de exemplificação conforme a fundamentação

Figura 29: Simulação do Cenário D
Simulação do Cenário D

apresentada no 2, são:

1. Manter o tamanho da força de trabalho sob controle para preservar recursos para investir no aprendizado, produtividade, ou seja,
 - Preservar recursos de esforço produtivo para as soluções de aprendizagem (mindset do trabalhar mais para o trabalhar melhor)
 - Difusão e incorporação mais rápida do objetivo comum da organização e a da criação de uma cultura para a produtividade
 - Respeitar o tempo para criação das regras de auto-organização desejadas (direção do aprendizado) que o sistema irá replicar quando

Figura 30: Simulação do Cenário E
Simulação do Cenário E

tiver condições de expandir.

2. Favorecer o acúmulo de experiência na Força de Trabalho:

- Políticas de retenção de profissionais, especialmente mais antigos e com experiências válidas
- Evitar quebras de aprendizado no ciclo OADI e assim aumentar o número de experiências válidas para a aprendizagem.

3. Estimular a intensidade do aprendizado da Força de Trabalho através do desenvolvimento e relacionamento:

Figura 31: Simulação do Cenário F
Simulação do Cenário F

- Remuneração e benefícios, perspectiva de desenvolvimento de carreira e comprometimento
- Educação, treinamentos e qualificação nas habilitações profissionais necessárias
- Integração dos funcionários em torno do objetivo comum (produtividade) e cultura de cooperação
- Estrutura organizacional hierárquica para gestão e controle da produção em todos os níveis

4. Garantir a transferência do aprendizado da Força de Trabalho para o

aprendizado da Produção (Rotinas e Práticas):

- Indicadores e processos de gestão e de produção para registrar o conhecimento conceitual e prático do estaleiro.
- Padronização e automação dos processo de gestão e difusão da informação
- Implementar sistemas customizados para a gestão do conhecimento

5. Eliminar eventuais resistências e estabelecer a base de rotinas e processos, relações e regras do Estaleiro, especialmente:

- Desenvolvimento da base conceitual (know-why) do Estaleiro (Engenharia, Planejamento, Suprimentos)
- Desenvolvimento da base operacional (know-how) do Estaleiro (Produção)
- Integração e cooperação entre os departamentos e processos das bases conceitual e operacional do Estaleiro

PARTE IV

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Um estaleiro que aprende é um sistema virtuoso que, muito além da importação de práticas ou rotinas, possui um modelo mental compartilhado, objetivos comuns e valores disseminados por toda a força de trabalho que são alavancas que influenciam a auto-organização do sistema. Desta forma, as ações necessárias para se obter um modelo mental, objetivos e valores compartilhados estão associadas às decisões da corporação para o desenvolvimento de sua força de trabalho. Este capítulo apresentará um resumo das diretrizes que podem guiar ações para a busca por produtividade no longo prazo.

A partir da experiência obtida com a modelagem, a análise do modelo e dos testes de cenários, foi possível elaborar um roteiro com cinco linhas de atuação para se pensar um estaleiro como organização de aprendizagem. Nota-se que os cinco conceitos convergem em um ponto comum: estão relacionados de alguma forma com a gestão, relacionamento e organização da força de trabalho.

1. Respeitar os Limites do Crescimento: É recomendável respeitar os limites do crescimento da força de trabalho, ou seja, não extrapolar a curva de mobilização prevista inicialmente. A utilização de recursos além da capacidade de suporte da força de trabalho irá resultar em escassez de recursos de poderá causar queda de aprendizado e perda de expe-

riência através de uma desmobilização brusca e forçada. Além disso, é uma boa estratégia para um novo estaleiro começar pequeno uma vez que o processo de difusão e transferência do conhecimento será mais rápido e, portanto, a intensidade do aprendizado da força de trabalho e da produção serão maiores no início, período mais crítico de formação da organização e cujos problemas poderiam ser amplificados com um crescimento prematuro. Com a consolidação de práticas e já inserido em uma curva virtuosa de produtividade aumentam as chances de o estaleiro expandir suas operações de uma maneira sustentada.

2. Importância da Retenção e Valorização da Experiência: A retenção de pessoas e, portanto, de experiência é muito importante para manter aceso o aprendizado da força de trabalho. Entretanto, sabe-se que nem toda experiência vira aprendizado, o que desperta a atenção para a necessidade de valorizar a experiência, ou seja, de criar as condições para que cada vez mais ciclos de experiência se convertam em aprendizado, de aumentar a proporção de experiências proveitosas. O efeito do aprendizado do estaleiro, através de maior padronização, previsibilidade e estabilidade nos processos, contribui para a valorização da experiência para o aprendizado direcionado à produtividade.
3. Intensificar o Aprendizado da Força de Trabalho: O desenvolvimento das pessoas é fundamental uma vez que elas são a fonte de aprendizado do estaleiro. Neste sentido, o estaleiro deve ser pensado como um sistema de aprendizagem, em que o desenvolvimento das pessoas é realizado em todos os níveis e o aprendizado ocorre junto com o processo de produção. Além da criação do ambiente e mobilização de recursos, é necessária a disponibilização de tempo para o aprendizado na organização. Além do desenvolvimento pessoal, outros fatores podem influenciar

a intensidade do aprendizado da força de trabalho como remuneração e benefícios, perspectiva de crescimento na carreira, proporção de novatos por experientes na força de trabalho e a taxa de difusão do conhecimento como função do tamanho da força de trabalho e da eficiência da estrutura organizacional.

4. Facilitar a Transferência do Aprendizado: Para a transferência do aprendizado ocorrer pode-se aumentar a taxa de captura e aproveitamento do aprendizado da força de trabalho e pode-se procurar diminuir o tempo de transferência deste aprendizado, que na verdade são ações equivalentes em efeito no comportamento do sistema. A captura pode ser aumentada e o atraso na transferência diminuído através da ajuda de sistemas de informação e através da formalização de processos e procedimentos que servirão de guias para as ações da organização.
5. Intensificar o Aprendizado da Produção: O aprendizado da produção está relacionado ao aprendizado da força de trabalho e caso estimulado através da importação de práticas e rotinas, esta deve ocorrer em sintonia com um programa de treinamento das pessoas, principalmente se as novas práticas e rotinas tiverem sido concebidas em outro paradigma de produção (outro modelo mental). Pode ser muito proveitosa a importação de conhecimentos operacionais ou conceituais de outros estaleiros bem sucedidos, uma vez que o tempo necessário será menor do que a criação das práticas, mas isto obrigatoriamente deve vir acompanhado de entendimento, adaptação, adoção e incorporação - ou seja, aprendizado - destas práticas pela força de trabalho.

O ponto comum entre as diretrizes apresentadas é que todas estão relacionadas de alguma maneira às pessoas, o que remete ao elemento principal da teoria do aprendizado das organizações, de que a origem do aprendizado

está nas pessoas. Não é a toa que muitos estaleiros bem sucedidos considera sua força de trabalho o elemento mais importante da organização, o que fica evidente nas políticas de desenvolvimento e capacitação, segurança do trabalho e relacionamento com as comunidades próximas.

Entretanto, na prática, o desenvolvimento das pessoas nem sempre é priorizado nas organizações, por exigir grande esforço da organização em prol de benefícios que somente serão percebidos no longo prazo. Seguindo o arquétipo de inversão de ônus apresentado no capítulo 7, os tomadores de decisão podem erroneamente optar por soluções sintomáticas e de curto prazo como, por exemplo, a subcontratação de serviços que no limite podem competir e comprometer o aprendizado da força de trabalho própria do estaleiro; a contratação de trabalhadores de outras regiões que tendem a abandonar o trabalho após alguns anos prejudicando assim a retenção de experiência; adoção de políticas de gestão da força de trabalho que não geram qualificação ou motivação suficiente para alavancar o aprendizado da força de trabalho; formalização de processos sem o correspondente aprendizado em produtividade que culmina na consolidação de uma memória compartilhada voltada para a improdutividade ou ainda a importação de processos comprovados em outros ambientes de produção mas que torna-se sem efeito por não conseguir permear os modelos mentais individuais através do aprendizado da força de trabalho.

Nesta pesquisa, utilizou-se como premissa que o estaleiro possui um único objetivo para a melhoria da produtividade, ou seja, que cumpra a sua função de construir embarcações com eficácia, eficiência e qualidade, tanto pelas ações em nível organizacional através de suas práticas de produção quanto pelas ações individuais de cada elemento da força de trabalho. No entanto, as organizações reais podem ter objetivos múltiplos, nem sempre explícitos e,

eventualmente, conflitantes. Esta simplificação em torno de um único objetivo e seus resultados podem servir de referência para comparação e avaliação se políticas e práticas de estaleiros estão alinhadas com um modelo mental de produção que favoreça o aprendizado em produtividade de um estaleiro no longo prazo.

9 RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Segundo Meadows (2008) o mindset atual do mundo industrial e o grande poder de processamento de informações dos computadores pode causar a ilusão de que tudo é previsível e controlável. Mas na verdade, os sistemas humanos, não lineares, complexos e auto-organizáveis por natureza, são imprevisíveis e incontroláveis. Para Schumacher (1973) o aprendizado gera variabilidade e instabilidade, o que é coerente com o caso estudado pois, não fosse a cooperação existente entre aprendizado da produção e aprendizado da força de trabalho, este seria menos eficaz, multidirecional, desprovido de um objetivo comum representado pela melhora de produtividade. No entanto, existe um equilíbrio entre previsibilidade e imprevisibilidade, entre padronização e liberdade.

Assim como o aprendizado sem direcionamento pode construir um ambiente caótico, o extremo da padronização e do produtivismo pode conduzir os sistemas a uma zona perigosa e de uma maneira que não é fácil de ser percebida. A busca única e irrestrita pela produtividade, assumida como premissa neste trabalho, elimina desperdícios e com o tempo sua estrutura torna-se cada vez mais enxuta com menos ciclos de balanço que o usual na estrutura do sistema, ou seja, menos caminhos alternativos para o sistema recuperar seu estado caso ocorra alguma perturbação. Esta propriedade de recuperação dos sistemas é chamada de resiliência, e este é um aspecto importante

a ser considerando em estudos futuros, a partir de que ponto começa a se perder resiliência em favor da produtividade.

Outro ponto interessante para continuidade deste trabalho seria o aperfeiçoamento do modelo para o estudo mais aprofundado do fenômeno da resistência das organizações, que ocorre quando as pessoas aprendem mas a organização resiste. A abordagem utilizada neste trabalho, através de estoques de memória e fluxos de aprendizado pode servir de ponto de partida para um modelo que simule casos de resistência das organizações, uma vez que esta resistência possui relação com o modelo mental compartilhado dominante e suas estruturas de pensamento e rotinas da organização. Além disso, acredita-se que a hipótese dinâmica elaborada nesta pesquisa pode ser aplicada a outros casos de sistemas industriais, ou sociais, em que há o aprendizado das pessoas, o aprendizado do sistema e um objetivo comum.

REFERÊNCIAS

- ADRITSOS, F.; PEREZ-PRAT, J. *State-of-the-art report on The Automation and Integration of Production Processes in Shipbuilding*. [S.I.], 2000.
- ARGOTE, L.; EPPLE, D. Learning curves in manufacturing. *Science*, Vol.247, n. No.4945, p. pp.920–924, 1990.
- BABA, K. *Production Technology Survey of Selected Asian Shipyards*. [S.I.], 2000.
- BENKARD, C. L. Learning and forgetting: The dynamics of aircraft production. *The American Economic Review*, Vol.90, n. No.4, p. pp 1034–1054, 2000.
- CRAGGS, J. et al. Naval compensated gross tonnage coefficients and shipyard learning. *Journal of Ship Production*, Vol. 20, n. No. 2, p. pp. 107–113, 2004.
- FMI, F. M. I. *State-of-the-Art Report on Process and Operations Technologies*. [S.I.], 2000.
- _____. *Findings for the Global Shipbuilding Industrial Base Benchmarking Study*. [S.I.], 2005.
- FORRESTER, J. W. *Industrial Dynamics*. Cambridge MA: Productivity Press, 1961. 464 p. Originally published by MIT Press. Also published by Pegasus Communications.
- _____. *Designing the future*. 1998. System Dynamics Group; E60-375; MIT; Cambridge, MA 02139 U.S.A.
- HARRIS, R. Can automation be a lean tool? *The Lean Enterprise Institute*, 2001.
- HINES, J. H. Evolutionary management: Five rules for organizational improvement. *Systems Thinker*, v. 9, n. 6, p. 1–5, 1998.
- KIM, D. H. *A Framework and Methodology for Linking Individual and Organizational Learning: Applications in TQM and Product Development*. Tese (Doutorado), 1993.
- KIM, D. H. The link between individual and organizational learning. *Sloan Management Review*, n. Fall, 1993. 14 pp. Also M.I.T. Sytem Dynamics Group Memo D-4413.

_____. Predicting behavior using systems archetypes. *The Systems Thinker*, v. 5, n. 8, 1994.

KIM, D. H.; SENGE, P. M. Putting systems thinking into practice. *System Dynamics Review*, v. 10, n. 2/3, p. 277–290, 1994. Also M.I.T. System Dynamics Group Memo D-4438.

KOENIG, P. C.; NARITA, H.; BABA, K. Lean production in the japanese shipbuilding industry? *Journal of Ship Production*, Vol. 18, n. No. 3, p. pp. 167–174, 2002.

LAMB, T.; HELLESØY, A. A shipbuilding productivity predictor. *Journal of Ship Production*, v. 18, n. No. 2, p. pp. 79–85, 2002.

MEADOWS, D. H. *Thinking in Systems: a Primer*. [S.l.]: Chelsea Green Publishing Company, 2008. 218 p.

MINTZBERG, H. *Criando Organizações Eficazes : Estruturas em Cinco Configurações*. [S.l.] : Editora Atlas, 1995.

NAGATSUKA, S. Study of the productivity of japan and south korea's shipbuilding yards based on statistical data. *Japan Maritime Research Institute*, 2000.

NEVIS, E. C.; DIBELLA, A. J.; GOULD, J. M. Organizations as learning systems. 1993.

PIRES, F. C. M.; LAMB, T. Establishing performance targets for shipbuilding policies. *Maritime Policy and Management*, Vol. 35, n. No. 5, p. pp 491–502, 2008. Floriano C. M. Pires and Thomas Lamb. graph. Darst.

REPENNING, N. P.; STERMAN, J. D. Nobody ever gets credit for fixing problems that never happened: Creating and sustaining process improvement. *California Management Review*, Vol 43, n. No. 4, 2001.

SCHUMACHER, E. F. *O Negócio e Ser Pequeno (Small is Beautiful) - Um estudo de Economia que leva em conta as pessoas*. Londres, Inglaterra: Blond and Briggs / Zahar Editores, 1973.

SENGE, P. *The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization - A Conversation with Peter Senge*. [S.l.]: Innovation Associates's Leadership and Mastery Program, July 19 1990 1990.

SENGE, P. M. *The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization*. New York: Doubleday/Currency, 1990. 424 p.

STERMAN, J. D. *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Boston: Irwin/McGraw-Hill, 2000. xxvi, 982 p. 1 computer optical disc (4 3/4 in.) System requirements: PC or Macintosh.

STOPFORD, M. *Maritime economics*. 3rd. ed. London ; New York: Routledge, 2009. xxiv, 815 p. p. 2008009223 GBA875751 014640966 Martin Stopford. ill. (some col.), maps (some col.) ; 26 cm. Includes bibliographical references (p. [783]-791) and index.

STUMP, E. *All About Learning Curves*. [S.l.], 2002.

TOLEDO, N. N. *Notas de Aula sobre a Produtividade na Manufatura*. 2011.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. *The Machine That Changed The World*. New York, USA: HarperCollins, 1990.

APÊNDICE A - DOCUMENTAÇÃO DO MODELO

(001) Ajuste da Contratação pelo Orçamento= Chave Cenário
 $1 * \text{MIN}(\text{Orçamento Disponível em relação a MO}, 0) * \text{Conversão do Orçamento}$
 em Taxa de Contratacao Units: Pessoas/Year

(002) Ajuste da Força de Trabalho= (Força de Trabalho Necessária-Força
 de Trabalho)/Tempo de Ajuste da Força de Trabalho Units: Pessoas/Year

(003) Ajuste da Linha de Producao= (Linha de Producao Desejada - Linha
 de Produção WIP)/Tempo de Ajuste da Linha de Producao Units: CGT/Year

(004) Ajuste do Estoque de Producao= (Estoque de Produção Desejado
 - Estoque de Produção)/Tempo de Ajuste do Estoque de Producao Units:
 CGT/Year

(005) Aumento de Capacidade= $\text{MAX}(\text{Taxa de Encomendas-Capacidade}$
 do Estaleiro, 0) * Período Aumento Capacidade Units: CGT/Year/Year

(006) Capacidade do Estaleiro= $\text{INTEG} (\text{Aumento de Capacidade-Perda}$
 de Capacidade, Capacidade Inicial) Units: CGT/Year

(007) Capacidade Inicial= 1 Units: CGT/Year

(008) Carteira de Encomendas= $\text{INTEG} (\text{Taxa de Encomendas-Taxa de}$
 Entregas, Carteira de Encomendas Inicial) Units: CGT

(009) Carteira de Encomendas Inicial= 1 Units: CGT

(010) Change in Pink Noise = $(\text{White Noise} - \text{Pink Noise}) / \text{Noise Correlation}$
 Time Units: 1/week

(011) Chave Cenário 1= 0 Units: Dmnl [0,1,1]

(012) Conversao do Orcamento em Taxa de Contratacao= 1 Units:
 $1 / (\text{Year} * \text{Year})$

(013) Curva Produtividade Mercado= ACTIVE INI-

$$TIAL = \left(\frac{Produtividade\ Inicial\ do\ Mercado * (Time+1)^{LN(1 - IntensidadeAprendizadoMercado)/LN(2))}}{ProdutividadeInicialdoMercado} \right) Units : HH/CGT$$

(014) Decaimento da Experiencia= Fracao de Decaimento da Experiencia*Experiencia da MO Units: PA/Year

(015) Delivery Delay Data Units: Year

(016) Delivery Rate Data Units: CGT/Year

(017) Desmobilização Desejada= -MIN(Ajuste da Força de Trabalho,0) Units: Pessoas/Year

(018) Deterioracao da Capacidade por Periodo= 0.05 Units: 1/Year

(019) Difusão em Função do Tamanho da Força de Trabalho([(0,0)-(100000,1)],(0,1),(4892.97,0.745614),(10000,0.5),(24464.8,0.25),(49847.1,0.105263),(75841,0.0394737),(100000,0)) Units: Dmnl

(020) Difusão em Função da Disponibilidade do Conhecimento([(0,0.4)-(40,1)],(0,0.5),(5,0.75),(10,0.9),(15,0.95),(40,1)) Units: Dmnl

(021) Efeito da Difusão do Conhecimento= 1-Difusão em Função do Tamanho da Força de Trabalho(Força de Trabalho)*Difusão em Função da Disponibilidade do Conhecimento (Experiencia Media do Funcionario)/3 Units: Dmnl

(022) Efeito da Politica de Qualificação= Fração da Carga Horária para Qualificação/Fração Máxima Qualificação Units: Dmnl

(023) Efeito do Aprendizado da Força de Trabalho= (MAX(Experiencia da MO,Experiencia Inicial da MO)/Experiencia Inicial da MO)^{ndicedaCurvadeAprendizadodaForadeTrabalho} Units:Dmnl

(024) Efeito do Aprendizado da Produção= (Experiencia do Estaleiro/Experiencia Inicial do Estaleiro)^{ndicedaCurvadeAprendizadodaProduo} Units:Dmnl

(025) Efeito do Aprendizado do Estaleiro= Memória do Estaleiro*Efeito do Aprendizado da Produção+(1-Memória do Estaleiro)*Efeito do Aprendizado da Força de Trabalho Units: Dmnl

(026) Encomendas Acumuladas= INTEG (Tx Enc, 0) Units: CGT

(027) Entregas Acumuladas= INTEG (Tx Ent, 0) Units: CGT

(028) Estoque de Produção= INTEG (Taxa de Produção Real-Taxa de Entrega Real, 1) Units: CGT

(029) Estoque de Produção Desejado= Ordens de Producao*Tempo Mínimo de Completação Units: CGT

(030) Experiencia Adquirida no Periodo= 0.2 Units: PA/(Pessoas*Year) [0,1,0.1]

(031) Experiencia da MO= INTEG (Ganho de Experiencia da MO+Ganho de Experiencia por Contratacao-Decaimento da Experiencia -Perda de Experiencia por Demissao, Experiencia Inicial da MO) Units: PA

(032) Experiencia do Estaleiro= INTEG (Ganho de Experiencia do Estaleiro, Experiencia Inicial do Estaleiro) Units: CGT

(033) Experiencia Inicial da MO= "Mao-de-Obra Inicial"*Experiencia Media de Referencia Units: PA

(034) Experiencia Inicial do Estaleiro= 50000 Units: CGT

(035) Experiencia Media de Referencia= 1.5 Units: PA/Pessoas

(036) Experiencia Media do Funcionario= Experiencia da MO/Força de Trabalho Units: PA/Pessoas

(037) Falta de Força de Trabalho= MAX(Força de Trabalho Necessária-Força de Trabalho,0) Units: Pessoas

(038) FINAL TIME = 40 Units: Year The final time for the simulation.

(039) Força de Trabalho= INTEG (Taxa de Contratacao-Taxa de Demissao, "Mao-de-Obra Inicial") Units: Pessoas

(040) Força de Trabalho Necessária= Taxa de Producao Necessária*Produtividade/Horas por Ano Units: Pessoas

(041) Fracao de Decaimento da Experiencia= 0.1 Units: 1/Year

(042) Fração da Carga Horária para Qualificação= 0.1 Units: **undefined** [0,2,0.01]

(043) Fração de Aprendizado Transferido= 1 Units: Dmnl

(044) Fração Máxima Qualificação= 0.1 Units: **undefined** [0,1,0.01]

(045) Ganho de Experiencia da MO= Experiencia Adquirida no Período*Força de Trabalho Units: PA/Year

(046) Ganho de Experiencia do Estaleiro= Taxa de Entrega Real Units: CGT/Year

(047) Ganho de Experiencia por Contratacao= Taxa de Contratacao*Experiencia Media de Referencia Units: PA/Year

(048) Horas por Ano= 180*12 Units: HH/(Year*Pessoas)

(049) INITIAL TIME = 0 Units: Year The initial time for the simulation.

(050) Input= 1+STEP(Step Height,Step Time)+ (Pulse Quantity/TIME STEP)*PULSE(Pulse Time,TIME STEP)+ RAMP(Ramp Slope,Ramp Start Time,Ramp End Time)+ Sine Amplitude*SIN(2*3.14159*Time/Sine Period)+ STEP(1,Noise Start Time)*Pink Noise Units: Dimensionless Input is a dimensionless variable which provides a variety of test input patterns, including a step, pulse, sine wave, and random noise.

(051) Input Encomendas= Input Inicial Encomendas*Input Units: People

(052) Input Inicial Encomendas= 180000 Units: CGT/Year

(053) Input Produtividade Outros Estaleiros(
 [(0,0)-(40,80)],(1,70.36),(6,44.17),(9,61.19),(10,51.06),(11,43.11),(12,43.81
),(13,42.19),(14,39.56),(15,35.06),(16,31.08),(17,28.53),(18,28.38),(19,21.86
),(26,10),(40,10)) Units: HH/CGT

(054) Intensidade Aprendizado Mercado= 0.3 Units: Dimensionless
 [0.01,0.5,0.01]

(055) Intensidade do Aprendizado da Força de Trabalho= Intensidade Máxima do Aprendizado da Força de Trabalho Units: Dmnl

(056) Intensidade do Aprendizado da Produção= Intensidade Máxima do Aprendizado da Produção*Memória do Estaleiro Units: Dmnl

(057) Intensidade do Aprendizado Força de Trabalho 2= Efeito da Política de Qualificação+Efeito da Difusão do Conhecimento+Limites ao Aprendizado da Força de Trabalho Units: Dmnl

(058) Intensidade Máxima do Aprendizado da Força de Trabalho= 0.15 Units: Dmnl [0,1,0.01]

(059) Intensidade Máxima do Aprendizado da Produção= 0.15 Units: Dmnl [0,0.3,0.01]

(060) Índice da Curva de Aprendizado da Força de Trabalho= $\text{LN}(1-\text{Intensidade do Aprendizado da Força de Trabalho})/\text{LN}(2)$ Units: Dmnl

(061) Índice da Curva de Aprendizado da Produção= $\text{LN}(1-\text{Intensidade do Aprendizado da Produção})/\text{LN}(2)$ Units: Dmnl

(062) Índice de Rotatividade= 0.05 Units: 1/Year

(063) Limites ao Aprendizado da Força de Trabalho= 1 Units: Dmnl
[0,1,0.1]

(064) Linha de Producao Desejada= Tempo Mínimo de Produção*Ordens
de Producao Units: CGT

(065) Linha de Produção WIP= INTEG (Taxa de Inicio de Producao-Taxa
de Produção Real, 1) Units: CGT

(066) "Mao-de-Obra Inicial"= 500 Units: Pessoas

(067) Margem= 1 Units: Dmnl [0,5,0.2]

(068) Memória do Estaleiro= INTEG (Transferência de Aprendizado da
Força de Trabalho+Transferência de Aprendizado da Produção , 0.01) Units:
Dmnl

(069) Mobilização Desejada= MAX(Ajuste da Força de Trabalho,0)+Taxa
de Rotatividade Units: Pessoas/Year

(070) ModoRef Encomendas([(1,0)-(40,4e+006)],(1,41000),(2,52000),(3,62000),(4,140000),
(5,31500),(7,105300),(8,163382),(9,66000),(10,106500),(11,295000),(12,180500),
(13,805500),(14,506000),(15,849000),(16,464500),(17,810000),(18,788000),
(19,945000),(20,1.978e+006),(21,883000),(22,1.17e+006),(23,3.074e+006),(24,
2.7725e+006),(25,1.6745e+006),(26,3.334e+006),(27,3.896e+006),(28,1.3195e+006),
(29,437000),(30,2.729e+006),(31,1.2e+006),(32,600000),(35,200000),(40,0)
) Units: CGT/Year

(071) Noise Correlation Time = 4 Units: week

(072) Noise Standard Deviation = 0 Units: Dimensionless

(073) Noise Start Time = 5 Units: week

(074) Orçamento de HH da Força de Trabalho= INTEG (Taxa de Venda
de HH-Taxa de Consumo de HH, Orçamento Inicial) Units: HH

(075) Orçamento Disponível em relação a MO= (Orçamento de HH da Força de Trabalho/Horas por Ano)-Força de Trabalho *Tempo Reserva de Orçamento Units: Year*Pessoas

(076) Orçamento Inicial= 1e+007 Units: HH

(077) Ordens de Producao= DELAY1(Taxa de Encomendas,Tempo de Espera Fila de Producao) Units: CGT/Year

(078) Orderbook Data Units: CGT

(079) Perda de Capacidade= Capacidade do Estaleiro*Deterioracao da Capacidade por Periodo Units: CGT/(Year*Year)

(080) Perda de Experiencia por Demissao= Taxa de Demissao*Experiencia Media do Funcionario Units: PA/Year

(081) Periodo Aumento Capacidade= 1 Units: 1/Year

(082) Pink Noise = INTEG(Change in Pink Noise,0) Units: Dimensionless

(083) Productivity Data Units: HH/CGT

(084) Produtividade= MIN(Produtividade Inicial*Efeito do Aprendizado do Estaleiro,Produtividade Inicial) Units: HH/CGT

(085) Produtividade de Venda= Input Produtividade Outros Estaleiros(Time) Units: HH/CGT

(086) Produtividade Inicial= 120 Units: HH/CGT

(087) Produtividade Inicial do Mercado= 120 Units: HH/CGT

(088) Programacao da Producao= INTEG (Variação nas Ordens de Produção, 0) Units: CGT/Year

(089) Pulse Quantity=0 Units: Dimensionless*week

(090) Pulse Time=5 Units: week

(091) Ramp End Time=1e+009 Units: week

(092) Ramp Slope=0 Units: 1/week

(093) Ramp Start Time=5 Units: week

(094) Reprogramação de Ordens= Falta de Força de Trabalho*Horas por Ano/Produtividade Units: CGT/Year

(095) SAVEPER = TIME STEP Units: Year

(096) Sine Amplitude= 1 Units: Dimensionless

(097) Sine Period= 12 Units: Weeks

(098) Step Height= 0 Units: Dimensionless

(099) Step Time=5 Units: week Time for the step input.

(100) Swicht Reprogramacao= 0 Units: Dmnl

(101) Switch para ModoRef= 1 Units: Dmnl [0,1,1]

(102) Taxa de Consumo de HH= Força de Trabalho*Horas por Ano Units: HH/Year

(103) Taxa de Contratacao= MAX(Taxa de Preenchimento de Vagas+Ajuste da Contratação pelo Orçamento ,0) Units: Pessoas/Year

(104) Taxa de Demissao= Taxa de Eliminacao de Vagas+Taxa de Rotatividade Units: Pessoas/Year

(105) Taxa de Eliminacao de Vagas= Desmobilização Desejada Units: Pessoas/Year

(106) Taxa de Encomendas= ACTIVE INITIAL (Switch para ModoRef*ModoRef Encomendas(Time)+(1-Switch para ModoRef)*Input Encomen-

das , 0) Units: CGT/Year

(107) Taxa de Entrega Real= Estoque de Produção/Tempo Mínimo de Completação Units: CGT/Year

(108) Taxa de Entregas= MIN(Taxa de Entrega Real, Carteira de Encomendas) Units: CGT/Year

(109) Taxa de Inicio de Producao= ACTIVE INITIAL (Taxa de Produção Potencial, 0) Units: CGT/Year

(110) Taxa de Preenchimento de Vagas= Mobilização Desejada Units: Pessoas/Year

(111) Taxa de Producao Necessária= MAX(0, Programacao da Producao+Ajuste da Linha de Producao+Ajuste do Estoque de Producao) Units: CGT/Year

(112) Taxa de Produção Potencial= Força de Trabalho*Horas por Ano/Produtividade Units: CGT/Year

(113) Taxa de Produção Real= DELAY3(Taxa de Inicio de Producao, Tempo Mínimo de Produção) Units: CGT/Year

(114) Taxa de Rotatividade= Índice de Rotatividade*Força de Trabalho Units: Pessoas/Year

(115) Taxa de Venda de HH= Margem*Taxa de Encomendas*Produtividade de Venda Units: HH/Year

(116) Tempo de Ajuste da Força de Trabalho= 2 Units: Year

(117) Tempo de Ajuste da Linha de Producao= 1.5 Units: Years

(118) Tempo de Ajuste da Programacao da Producao= 0.3 Units: Years

(119) Tempo de Ajuste do Estoque de Producao= 3 Units: Years

(120) Tempo de Espera Fila de Producao= $\text{MAX}(\text{Tempo Mínimo de Espera}, \text{Tempo Medio de Entrega} - \text{Tempo Mínimo de Completação} - \text{Tempo Mínimo de Produção})$ Units: Year

(121) Tempo Medio de Entrega= $\text{MAX}(\text{Carteira de Encomendas}/\text{Capacidade do Estaleiro}, 0)$ Units: Years

(122) Tempo Mínimo de Espera= 1 Units: Year

(123) Tempo Mínimo de Completação= $\text{Tempo Mínimo de Completação Inicial} * \text{Efeito do Aprendizado do Estaleiro}$ Units: Year

(124) Tempo Mínimo de Completação Inicial= 1 Units: Years

(125) Tempo Mínimo de Produção= $\text{Tempo Mínimo de Produção Inicial} * \text{Efeito do Aprendizado do Estaleiro}$ Units: Year

(126) Tempo Mínimo de Produção Inicial= 3 Units: Years

(127) Tempo para Transferência do Aprendizado= 10 Units: Year [1,40,0.1]

(128) Tempo para Transferência do Aprendizado 0= 1 Units: Year [1,10,0.1]

(129) Tempo Reserva de Orçamento= 1 Units: Years

(130) TIME STEP = 0.125 Units: Year The time step for the simulation.

(131) Transferência de Aprendizado da Força de Trabalho= $((1 - \text{Efeito do Aprendizado da Força de Trabalho}) - \text{Memória do Estaleiro}) * \text{Tempo para Transferência do Aprendizado} * \text{Fração de Aprendizado Transferido}$ Units: 1/Year

(132) Transferência de Aprendizado da Produção= $((1 - \text{Efeito do Aprendizado da Produção}) - \text{Memória do Estaleiro}) / \text{Tempo para Transferência do Aprendizado 0}$ Units: 1/Year

(133) Tx Enc= Taxa de Encomendas Units: CGT/Year

(134) Tx Ent= Taxa de Entregas Units: CGT/Year

(135) Variação nas Ordens de Produção= (Ordens de Producao+Swicht
Reprogramacao*Reprogramação de Ordens-Programacao da Producao
)/Tempo de Ajuste da Programacao da Producao Units: CGT/(Year*Year)

(136) White Noise = Noise Standard Deviation*((24*Noise Correlation
Time/TIME STEP)^{0.5} * (RANDOM01() – 0.5))Units : *Dimensionless*

(137) Workforce Data Units: Pessoas