

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE MECÂNICA
ENGENHARIA MECÂNICA

JOÃO HUGO MARTINS TROVÃO

**OTIMIZANDO LEAN HEALTHCARE POR MEIO DE MÉTODOS
NUMÉRICOS**

PONTA GROSSA

2014

JOÃO HUGO MARTINS TROVÃO

**OTIMIZANDO LEAN HEALTHCARE POR MEIO DE MÉTODOS
NUMÉRICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentada como requisito parcial à
obtenção do título de Engenheiro
Mecânico, da Universidade Tecnológica
Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Rui Tadashi Yoshino
Co-orientador: Prof. Dr. Reginaldo de Oliveira

PONTA GROSSA

2014



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Ponta Grossa
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Mecânica
Bacharelado em Engenharia Mecânica



TERMO DE APROVAÇÃO

OTIMIZANDO LEAN HEALTHCARE POR MEIO DE MÉTODOS NUMÉRICOS

por

JOÃO HUGO MARTINS TROVÃO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 23 de julho de 2014 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Rui Tadashi Yoshino
Orientador

Prof. Dr. Pedro Paulo de Andrade Júnior
Membro Titular

Prof. Me. Gilberto Zammar
Membro Titular

Prof. Dr. Luiz Eduardo Melo Lima
Responsável pelos Trabalhos
de Conclusão de Curso

Prof. Dr. Laercio Javarez Junior
Coordenador do Curso de
Engenharia Mecânica

RESUMO

Este trabalho visa, por meio de métodos numéricos, otimizar alguns conceitos da metodologia *Lean Healthcare* aos processos hospitalares, objetivando o aumento do lucro e a diminuição de gargalos no percurso do paciente pelo sistema hospitalar. Para satisfazer esta necessidade busca-se, primeiramente, aplicar uma melhoria no hospital seguindo a metodologia *Lean*, concluída esta melhoria, criou-se um modelo matemático, em relação aos custos e quantidade de pacientes, que descreve esta nova configuração do sistema, aplica-se este modelo em um método numérico com o objetivo de minimizar seus custos e aumentar a quantidade de pacientes atendidos, encontrando um cenário em que o hospital obtenha o melhor resultado possível, diante da realidade em que se encontra, eliminando-se assim as tentativas intrínsecas da metodologia *Lean* de tentativa e erro.

Palavras-chave: métodos numéricos, otimizar, *Lean Healthcare*.

ABSTRACT

This work aims, using numerical methods, optimize some concepts of Lean Healthcare for hospital procedures, aiming to increase profit and decrease bottlenecks in the path of the patient by the hospital system. To satisfy this need we seek to first apply an improvement in hospital following the Lean methodology, improvement is completed, it creates a mathematical model in relation to describes this new system configuration, apply this model in a numerical method in order to minimize their costs and increase the amount of patients served by finding a scenario where the hospital get the best possible outcome, given the reality that is, thereby eliminating the inherent Lean methodology attempts of trial and error.

Keywords: numerical methods, optimize, Lean Healthcare.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Distribuição de porcentagens das atividades	22
Figura 2 - Comparação entre melhorias aplicadas em empresas	23
Figura 3 - Composição do <i>Lead Time</i>	25
Figura 4 - Visão geral do mapa de fluxo valor	27
Figura 5 - Evolução dos conceitos <i>Lean</i>	29
Figura 6 - Descrição do <i>Lean Healthcare</i>	30
Figura 7 - Influência da PO nas tomadas de decisões.....	32
Figura 8 - Mapeamento do sistema hospitalar em estudo	44
Figura 9 - Representação atual de ocupação em cada leito	45
Figura 10 - Comparativo entre o antes e o depois da aplicação do método.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Informação de faturamento e lucro de cada ocupação	44
Tabela 2 - Porcentagem de ocupação de cada especialidade	45

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Soluções encontradas para problemas encontrados no P.A.....	39
Quadro 2 - Soluções encontradas para problemas encontrados na radioterapia e quimioterapia.....	41
Quadro 3 - Soluções encontradas para problemas encontrados no centro cirúrgico	42
Quadro 4 - Quantidade mínima e máxima das especialidades.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS

P.O	Pesquisa Operacional
P.Q.S	Programação Quadrática Seqüencial
MFV	Mapa de Fluxo Valor
AV	Agrega Valor
NAV	Não Agrega Valor

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 PROBLEMA	16
1.2 OBJETIVO GERAL	16
1.3 OBJETIVO ESPECIFICO.....	18
1.4 JUSTIFICATIVA	16
1.5 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	18
1.5.1 TIPOS DE PESQUISA.....	18
1.5.2 COLETA DE DADOS.....	19
1.5.3 ESCOLHA DOS MÉTODOS E TÉCNICAS DE PESQUISA.....	19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 CARACTERÍSTICAS DA PRODUÇÃO ENXUTA	20
2.2 <i>LEAD TIME</i>	24
2.3 MAPA DE FLUXO VALOR.....	26
2.4 ADAPTAÇÃO DO <i>LEAN PRODUCTION</i> PARA O <i>LEAN HEALTHCARE</i>	28
2.5 PESQUISA OPERACIONAL.....	31
2.6 MÉTODOS NUMÉRICOS	34
3 ESTUDO DE CASO.....	38
3.1 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA <i>LEAN HEALTHCARE</i> NO I.C.....	38
3.2 OTIMIZANDO O <i>LEAN HEALTHCARE</i> POR MEIO DE MÉTODOS NUMÉRICOS.....	42
3.2.1 MODELAGEM DO PROBLEMA.....	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	49
5 CONCLUSÕES.....	50
REFERÊNCIAS.....	51

1 INTRODUÇÃO

“Fornecer o tratamento certo, para o paciente certo no tempo certo não é somente a definição de qualidade hospitalar, mas também a chave para o sucesso de um sistema hospitalar” (BAKER E TAYLOR, 2013).

O acelerado crescimento das empresas, que se faz necessário diante de um mercado globalizado e competitivo, acaba tornando-se ineficiente em determinados setores estratégicos. A prioridade de grande parte das empresas baseia-se na atração de novos clientes por meio, por exemplo, da qualidade em seus serviços e inovações em seus produtos, deixando em segundo plano aspecto como planejamento estratégico e visão futura de mercado.

Em conseqüência dessas decisões, têm-se os “gargalos” setoriais que acabam impedindo que a empresa consiga bons indicadores financeiros, limitando seus ganhos e não atingindo bons indicadores de qualidade e serviço, gerando *lead times* altos, baixa produtividade, baixo faturamento, elevado custo e tempo ocioso desnecessário. E esses tipos de conseqüências, só acabam se tornando de fato um problema à empresa quando todo o sistema, de alguma forma, já esta comprometido e bastante prejudicado.

Analisando este cenário no contexto hospitalar, o problema tem a mesma essência. Tendo a necessidade de atender cada vez mais pacientes e não se planejando para este aumento, pequenos gargalos vão se espalhado em diversas áreas do hospital. Com isso, muito atraso no atendimento e consultas sendo marcadas em datas além da que seria necessária. Tendo em vista este cenário e fazendo uma projeção de crescimento da população brasileira, estes problemas tendem a se agravar exponencialmente.

Ainda, segundo Teles (2001), a maioria dos dirigentes de hospitais brasileiros são médicos ou enfermeiras que aprenderam a coordenar o hospital no dia-a-dia. E isso acaba se tornando um grande desafio para estes profissionais, pois além deles não possuírem experiência em administração eles não são preparados para tal ocupação.

Barquin (1992) ainda complementa que esses dirigentes podem até realizar cursos de especialização em administração, porém isso acaba se tornando muito pouco em termos da grande responsabilidade que estão adquirindo. Para este tipo

de responsabilidade, é necessário um curso que seja especializado em administração de hospitais, pois os desafios encontrados nessa profissão pode se tornar particular para esse caso. E além disso, é necessário acompanhar os avanços tecnológicos nesse setor que constantemente apresenta inovação em termos de tratamento de pacientes.

Assim, faz-se necessário aplicar modificações nos processos hospitalares onde se localizam os gargalos de maior impacto, melhorando o processo de atendimento e tanto o hospital, que irá obter ganhos tanto em conseguir atender um maior número de paciente e como conseqüência disso terá um maior faturamento, como os pacientes, que terão suas consultas realizadas em um menor prazo de espera, serão beneficiados.

Existem várias ferramentas que são utilizadas pelas empresas para atingirem melhores indicadores de desempenho como, por exemplo, *benchmarking*, *Single Minute Exchange of Die (SMED)*, seis sigma, modelagem matemática entre outras.

A ferramenta escolhida para estudo foi a modelagem matemática, pois além de ser pouco estudada para esta finalidade, é capaz de criar cenários para a empresa definir qual a melhor estratégia para alcançar seus objetivos. Além disso, ainda é possível otimizar os resultados encontrados por meio de otimização numérica, no qual busca-se o ponto de máximo ou de mínimo da função gerada.

Todo o processo que de se repete ao longo de um período, é possível prever um estado futuro desse processo antes mesmo que ele tenha ocorrido, e está previsão pode ser representada por uma função matemática, por exemplo.

Por meio da modelagem matemática é possível descrever o problema de uma situação real, e com a utilização de métodos numéricos encontram-se os melhores parâmetros para definir a solução mais próxima do ideal deste problema, concordando com o objetivo principal.

Tendo controle das principais informações que equacionam o problema, podem existir vários modelos ou técnicas de resolução associados com este modelo, porém, existe a solução que mais se aproxima das informações reais, e essa conclusão será obtida por meio de informações passadas e atualizadas sobre os parâmetros em estudo do hospital.

Organização dos capítulos

Para atingir os objetivos apresentados anteriormente, este trabalho apresentará uma revisão bibliográfica, no capítulo 2, sobre *Lean Production* com suas ferramentas envolvidas e adaptar este modelo para uma aplicação em *Lean Healthcare*. Seguida de uma apresentação sobre pesquisa operacional e modelagem matemática aplicada em casos reais. Feito isso, uma apresentação sobre métodos numéricos para a resolução de sistemas será apresentado.

No capítulo 3, será descrito o estudo de caso que envolve um hospital localizado em São Paulo, o Instituto do Câncer. Neste capítulo, um levantamento das informações sobre sua capacidade em relação à área, atendimentos dos pacientes e *Layout* de trabalho será analisado juntamente com a receita do hospital. Feito isso, uma interpretação dessas informações serão necessárias para a inserção desses dados no desenvolvimento do modelo matemático que irá descrever a situação de ganhos do hospital, juntamente com seus custos e as restrições que estão envolvidas neste ambiente de trabalho.

Com a aplicação do método de programação quadrática seqüencial, no capítulo 4, deseja-se encontrar o melhor cenário em que o hospital consiga atingir bons indicadores tanto de ganhos como de atendimento.

Finalizando, no capítulo 5, uma conclusão de toda essa pesquisa será discutida com o intuito de verificar se está metodologia aplicada no hospital é viável ou não, e quais são os possíveis trabalhos futuros relacionados e este trabalho.

1.1 PROBLEMA

De que forma modelos matemáticos, aplicados em métodos numéricos, podem contribuir para que um hospital possa atender um maior número de pacientes, reduzir seus custos e utilizando os mesmos recursos?

1.2 OBJETIVO GERAL

Aplicar um método numérico em um modelo matemático para aprimorar um cenário em que o hospital terá melhores indicadores de desempenho.

1.3 OBJETIVO ESPECÍFICO

Primeiramente, este trabalho tem por objetivo aplicar a metodologia de *Lean Healthcare* para melhorar o processo de uma forma geral e diminuir as restrições que impedem que o processo flua com qualidade, ou seja, diminua seus gargalos. Esta primeira etapa é de suma importância para a eficácia da segunda etapa do trabalho, modelagem matemática aplicada a método de otimização. Pois além de ampliar o número de pacientes que poderão ser atendidos pelo hospital, o que representa um intervalo maior para a busca do ponto ótimo das restrições, os custos desnecessários que são gastos pelo hospital também serão eliminados, o que representa uma função objetivo com o maior lucro possível.

1.4 JUSTIFICATIVA

A qualidade do produto e serviço, a sustentabilidade financeira e a satisfação do cliente e colaboradores são a base de qualquer organização. Por se tratar de uma empresa particular, a receita do hospital é obtida, basicamente, com o atendimento dos pacientes e tratamento de suas doenças. Por isso, a necessidade de uma boa qualidade no atendimento aos pacientes é fundamental para o sucesso do hospital.

Na maioria dos hospitais, seus administradores são médicos e não possuem experiência e nem conhecimento para tal cargo. Isso acaba ocasionando decisões equivocadas, falta de planejamento estratégico para uma visão futura de mercado da empresa.

Um planejamento não adequado do hospital pode prejudicar indicadores futuros para o seu desenvolvimento. Para Fajardo Ortiz (1972), problemas da administração de hospitais estão ligados com a insuficiência na contratação de

pessoal; insuficiência na utilização de recursos econômicos e materiais; administração antiquada; e locais e equipamentos inadequados.

Nessa linha, Baker e Taylor (2009) enfatizaram o fato de que os conceitos do *Lean Healthcare* em sistemas de saúde são capazes de consertar os processos, melhorar a experiência dos pacientes e da equipe médica durante o tratamento, aumentar a possibilidade de absorção da crescente demanda por serviços de saúde e, ainda, contribuir positivamente com o orçamento.

Com o objetivo de otimizar os resultados da aplicação da metodologia *Lean* no hospital, buscou-se por um método que garantisse um cenário em que o hospital atinja seu máximo faturamento juntamente com a máxima quantidade de atendimento, atingido com qualidade no serviço. A utilização de um método numérico irá garantir a otimização nos resultados, visto que esses métodos são utilizados para maximização ou minimização de resultados, para isso é necessário a construção de um modelo matemático que represente o sistema hospitalar em questão.

Assim, Ogata (1985), afirma que sistemas podem ser caracterizados matematicamente por equações e a resposta a um sistema pode ser obtida através da resolução dessas equações. A descrição matemática das características de um sistema denomina-se modelo matemático e permite a análise do sistema e o projeto de seu sistema de controle, através da síntese matemática de seus procedimentos.

Com o modelo matemático construído e com o auxílio de métodos de otimização numérica, é possível determinar quais são as principais mudanças que devem ocorrer no hospital para que seus resultados sejam positivos. Uma das vantagens deste método, é a de não precisar implementar para descobrir quais os resultados que serão obtidos com tais mudanças, economizando tempo e dinheiro para a empresa.

Com a utilização destas três ferramentas, *Lean Healthcare*, modelagem matemática e método de otimização, busca-se o cenário na qual o hospital irá obter o máximo lucro e com essas informações tenta-se adaptar à realidade do hospital aproximando-a da situação ideal.

1.5 METODOLOGIA DA PESQUISA

De acordo com Fleury, Correa e Vargas (1994), a metodologia científica consiste na análise das características de vários métodos disponíveis. Ainda segundo o autor, consiste em ponderar suas capacidades, limitações e potencialidades e também em criticar e avaliar as implicações de sua utilização. A metodologia avalia as técnicas de pesquisa ou busca novos métodos tanto à observação quanto à projeção.

Segundo Sellitz *et al.* (1974) existem três tipos de pesquisa conforme seus objetivos, dos quais:

Pesquisa descritiva: caracteriza-se pela descrição precisa de uma determinada situação ou fenômeno e a classificação das variáveis.

Pesquisa exploratória: tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo explícito ou a construir hipóteses. Pode-se dizer que estas pesquisas têm como objetivo principal o aprimoramento de idéias.

Pesquisa causal: analisa as relações de causa e efeito entre suas variáveis.

Nas pesquisas descritivas e causais é fundamental realizar um planejamento adequado para diminuir as falhas e assim melhorar os resultados. Já para as pesquisas exploratórias, torna-se necessário um planejamento mais flexível para ser possível considerar diversos aspectos de um fenômeno.

1.5.1 TIPOS DE PESQUISA

A pesquisa científica pode ser classificada como quantitativa, qualitativa ou ambas. De acordo com BRYMAN (1989), as características de cada tipo de pesquisa pode ser classificada da seguinte forma:

- Pesquisa quantitativa: reuni um conjunto de variáveis de pesquisa bem definidas, dando menor atenção ao contexto e a análise estatística é realizada por meio das relações entre as variáveis.
- Pesquisa qualitativa: o contexto possui maior atenção e concentra-se interpretação do fenômeno, estreitando o entendimento do pesquisador sobre as ferramentas de estudo.

1.5.2 COLETA DE DADOS

Para aumentar a confiabilidade da pesquisa, costuma-se utilizar mais de uma fonte de coleta de dados na pesquisa. Segundo BRYMAN (1989), os principais tipos são:

- Observação: direta e passiva do objeto de estudo do pesquisador, tomando parte nos eventos que estão sendo estudados.
- Entrevistas: os informantes podem ser questionados a respeito de tópicos definidos ou então, eles possuem a liberdade de falar o que é importante sobre um determinado assunto.
- Documentos: informações registradas de forma sistemática pela organização.
- Simulação: é utilizado para imitar um comportamento real, de acordo com condições controladas.

1.5.3 ESCOLHA DOS MÉTODOS E TÉCNICAS DE PESQUISA

Este trabalho tem a característica exploratória e descritiva. É exploratório pois além de possuir característica de estudo de caso, o trabalho visa a construção de um algoritmo para simular o comportamento real do sistema hospitalar. E é descritiva, pois busca entender as variáveis que são incorporadas nas operações da organização.

Esta pesquisa visa responder a seguinte pergunta:

É possível otimizar a metodologia *Lean Healthcare* através de métodos numéricos?

O início deste trabalho baseia-se na observação dos fenômenos envolvidos no problema analisado, a relação entre elas e qual seu impacto na resposta do sistema. E isso será possível com a observação do hospital quanto a seu desempenho em atender seus pacientes, na descrição dos dados de ganhos do hospital, compreensão e interpretação das informações para a construção do problema. Feito isso, será possível generalizar um modelo para descrever este fenômeno em questão.

Um estudo de caso será proposto para buscar descrever um problema real em um contexto virtual, através de um modelo matemático controlado e com a utilização do *software* “MATLAB” para programar um algoritmo que busque a solução ótima do modelo de acordo com seus objetivos, analisando as relações entre causa e efeito entre as variáveis e as respostas do simulador.

Devido à criação e adaptação preliminar de um modelo matemático para descrever objetivo principal e com o amadurecimento de informações ao longo do processo, é possível descrever o problema o mais próximo da realidade, com isso este estudo pode ser considerado uma pesquisa exploratória. E com a influência das variáveis do modelo em sua resposta, ou seja, devido a uma relação entre causa e efeito no valor das variáveis na resposta do sistema, esta pesquisa também pode ser caracterizada como pesquisa causal.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CARACTERÍSTICAS DA PRODUÇÃO ENXUTA

Em “A máquina que mudou o mundo”, Womack (1992), define que a produção enxuta, em uma grande variedade de produtos, deve possuir baixo *lead time*, elevada qualidade e deve usar seus recursos com eficiência. Para concretizar essas características, todos dentro da empresa devem participar, desde os cargos mais elevados até os operários do chão de fábrica.

Além disso, Womack (1992), descreve cinco princípios básicos da produção enxuta:

- 1) Definir o que é valor para o cliente: identificar o que o cliente deseja do produto, para que a empresa adote o melhor método possível para atender essas características e não gastar recursos com processos que o cliente não valoriza.
- 2) Identificar a cadeia de valor: entender o ciclo de vida do produto, desde a matéria-prima até o seu descarte. Somente com esse entendimento aprofundado a empresa consegue definir o valor que esta sendo agregado ao produto e, juntamente com o principio anterior e empresa é capaz de definir o real valor do produto.

- 3) Criar fluxo contínuo: significa a dar mais fluidez ao processo, não havendo interrupções desnecessárias na produção ocasionando atraso, o produto nunca para na linha. Cada etapa do processo termina antes que a próxima operação precise desse item. Também conhecido como “fazer um, mover uma”.
- 4) Criar produção puxada: o ritmo e o produto que esta na linha de produção da empresa é determinada pela demanda do mercado. Isso sugere que a empresa só fabrique seus produtos na hora e na quantidade que o cliente deseja comprá-lo, fazendo com que a empresa trabalhe o mínimo possível com previsões e estoques grandes.
- 5) Alcançar a perfeição: criar um cenário no qual seria a situação perfeita para a empresa, e através da melhoria continua e dos itens anteriores, buscar cada dia algo com que a empresa possa ficar cada vez mais perto desse objetivo

Toda empresa possui atividades que de fato agregam valor ao produto, atividades que não agregam valor e atividades que não agregam valor, porém são necessárias. A Produção enxuta é usada para diminuir as atividades que não agregam valor ao produto e aumentar as atividades que agregam valor. Esses três grupos de atividades são classificados da seguinte maneira:

- 1) Atividades que agregam valor (AV): são atividades que acrescentam valor ao produto, onde o cliente está disposto a pagar o valor do produto, pois esta atendendo os seus requisitos como consumidor.
- 2) Atividades que não agregam valor (NAV): são atividades que não estão acrescentando valor ao produto aos olhos do cliente, não faz nenhuma diferença realizar ou não estas atividades ao produto pois o cliente não vai estar interessado e nem disposto a pagar o valor agregado a essas atividades.
- 3) Atividades necessárias que não agregam valor (NAV): são atividades que não estão agregando valor ao produto para o cliente, porém é necessária para a empresa, por exemplo, *setup*.

Não há como eliminar essa atividade, mas tem como diminuí-la a curto ou longo prazo.

A figura 1 mostra como é a proporção destas três atividades dentro de uma empresa.

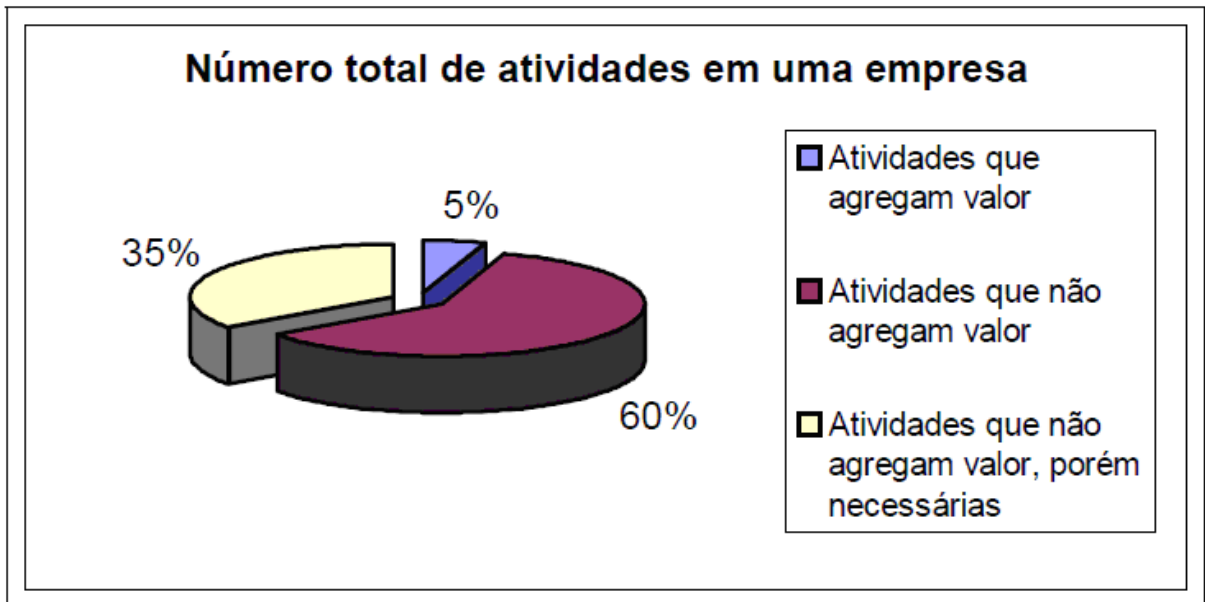


Figura 1 - Distribuição de porcentagens das atividades
Fonte: Hines e Taylor (2000)

Como pode ser visto na figura acima, a maioria das empresas gasta seu tempo realizando atividades que não agregam valor, sendo que a atividade que realmente o cliente está interessado representa apenas 5%.

A figura 2, mostra uma comparação da maioria das empresas em relação a melhorias pontuais e com enfoque na produção enxuta.

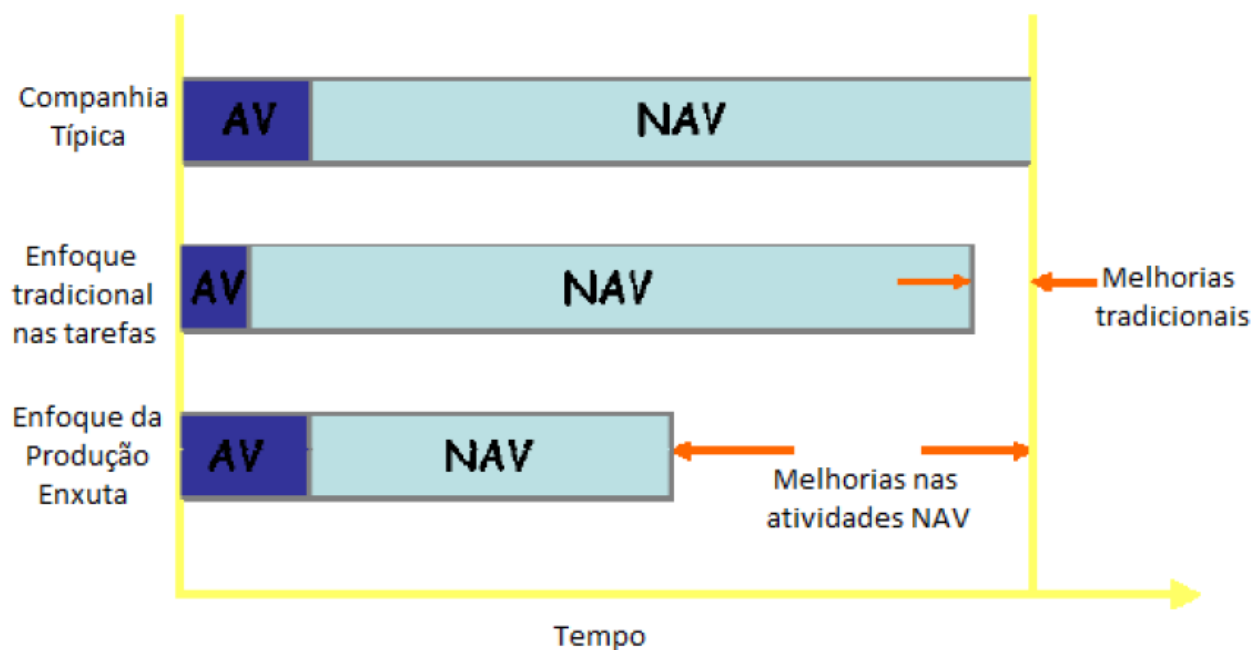


Figura 2 - Comparação entre melhorias aplicadas em empresas.
Fonte: Hines e Taylor (2000)

De acordo com Liker (2005), Ohno conseguiu identificar quais eram as atividades que não agregavam valor passando a maior parte de seu trabalho no chão de fábrica observando os operários e verificou que havia sete classificações de desperdícios, que estão listados a seguir:

- 1) Superprodução: Produzir a mais que a demanda ou antes do tempo. Este é classificado como sendo o pior desperdício, pois produzir em maior quantidade que a necessária gera um custo a mais para armazenamento e produzir antes do tempo pode gerar custo adiantado de manutenção do equipamento, pois esta sendo utilizado sem realmente precisar.
- 2) Transporte desnecessário: Um *Layout* mal projetado pode fazer com que os operários se movimentem mais do que realmente seria necessário para executar uma operação, gerando uma desorganização na fábrica e um atraso na produção.
- 3) Defeitos: peças fora do especificado gasta tempo e dinheiro para retrabalho, ou então todo o processo que houve em produzir a peça é descartado por a peça estar defeituosa e sem a possibilidade de ser concertada, gerando refugo.

- 4) Excesso de estoque: causado por excesso de matéria-prima, estoque em processo, gerando *lead time* elevados, desgaste desnecessário do maquinário e maior risco de danificar o produto.
- 5) Tempo de espera: período ocioso do funcionário, espera da matéria-prima ou das ferramentas para operação, falta de insumos, longos períodos para enviar uma informação.
- 6) Processamento incorreto: falta de calibração ou aferição nos equipamentos pode causar danos tanto a peça quanto ao operador. Uso de ferramentas inadequadas para a realização da atividade gera trabalho desnecessário ou defeito na peça.
- 7) Desperdício de criatividade: com o funcionário sempre realizando as mesmas atividades, consertando os mesmo defeitos e trabalhando sempre na mesma função, faz com que o operador não tenha tempo livre nem vontade em aprender novas técnicas e buscar melhorias no processo.

2.2 LEAD TIME

De acordo com Pollick (2010), *lead time* é o tempo decorrido entre o pedido do cliente até a entrega do produto. Solicitações de pequena demanda podem requerer pequenos *lead times*, porém, uma grande quantidade de um lote de peças pode ter um *lead time* de semanas ou até meses. Isso depende de diversos fatores, sendo que o *lead time* pode variar de acordo com feriados, demanda do produto ou temporadas.

Bons indicadores de *lead time* pode significar um ganho de espaço no mercado para a empresa. Se a empresa entrega um produto antes que seus concorrentes, ela terá mais chance de conseguir novos contratos e renovações dos que já existem.

Ao seguir o processo de produção de uma peça, analisa-se alguns tópicos que compõe o *lead time* desta peça, como apresentado na figura 3.

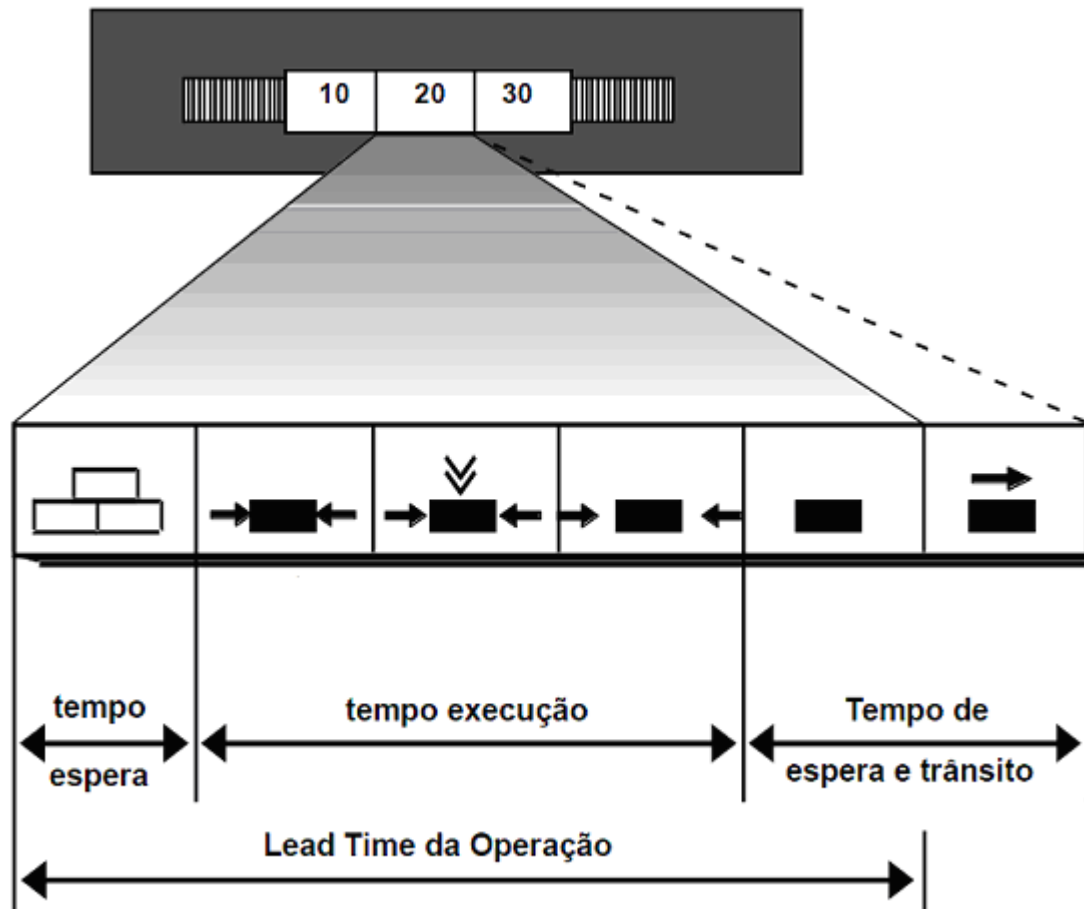


Figura 3 - Composição do *Lead Time*.
 Fonte: SAP Education Brasil, 2000.

O *lead time* é composto pelo tempo de espera, tempo de execução e pelo tempo de espera e trânsito. O tempo de espera representa o somatório dos tempos de todos os processos necessário para que a peça esteja pronta para entrar na linha de operação como, por exemplo, espera para completar o lote, espera de recursos ou de ferramentas. O tempo de execução é o tempo que leva para a matéria-prima recebida se transformar no produto acabado para o cliente. Entre os componentes dessa fase podemos citar, tempo para adaptar a máquina para a execução da peça, conhecida também como “*setup*”, tempo do processamento da peça passando pelas suas fases de operação e tempo para entregar a peça para o setor de avaliação da peça, necessária para verificar se o padrão de produção está sendo mantida. E por fim temos o tempo de espera e trânsito, é o tempo que a peça leva para ser transportada e finalmente, entrega ao cliente.

2.3 MAPA DE FLUXO VALOR

Com o auxílio dessa ferramenta é possível descrever a situação real da empresa. De acordo com Rother e Shook (1999), é a ferramenta mais importante da produção enxuta, pois é ela quem vai apontar quais são os principais desperdícios e possui uma visão global da empresa. As características dessa ferramenta são:

- Utiliza uma linguagem simples e de fácil entendimento do processo e identifica possíveis desperdícios.
- Padronização para identificar os processos, não dando espaço para várias interpretações.
- Devido a visão global do sistema produtivo, é possível enxergar as causas dos desperdícios.
- Atua na abordagem sistêmica do processo, impedindo que as técnicas sejam implantadas separadamente.
- Mostra a relação entre o fluxo de material e o fluxo de informação.

Para conseguir bons resultados com o uso dessa ferramenta, primeiramente é necessário construir o mapa de fluxo valor atual da empresa e com dados confiáveis, ou seja, dados obtidos no chão de fábrica. Essa mapa é construído desde a chegada da matéria prima até o produto acabado, passando pela entrega do material e recebimento de informações de seus clientes. E o mapa de fluxo valor deve ser representado por somente uma família de produto, sendo que para outras famílias devem ser construídos outros mapas.

A figura 4 a seguir descreve o exemplo de um mapa de fluxo valor com mais detalhes com a identificação de cada processo, transporte de informação e de material da fábrica, estoques intermediários, tempo de processamento, quantidade de operadores por máquina e quantos turnos são utilizados para produzir a peça.

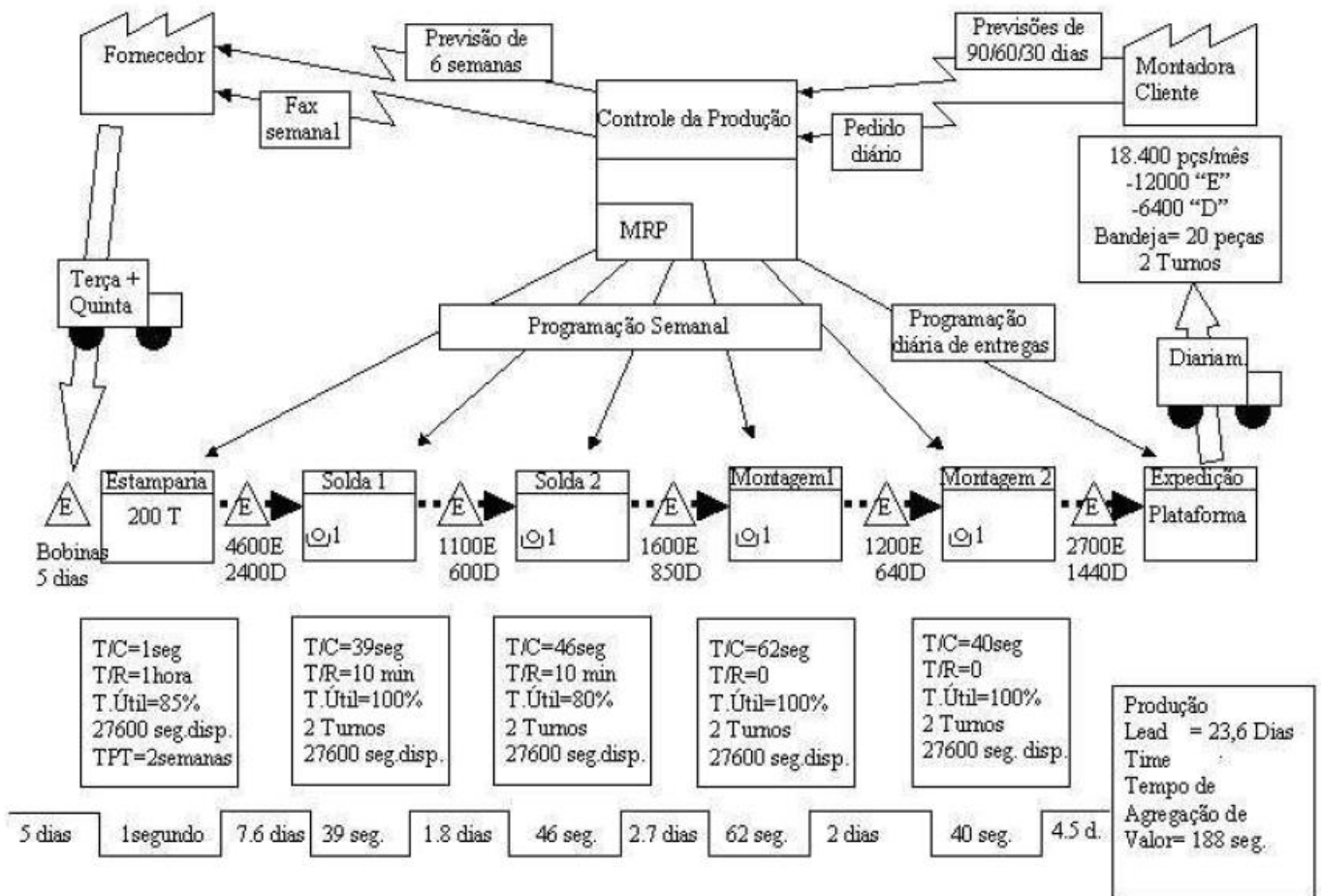


Figura 4 - Visão geral do mapa de fluxo valor.
Fonte: Adaptado de Rother, M. 1999.

Neste mapa pode ser verificado como é realizado o fluxo de informação da fábrica, a logística, os meios de transporte que são utilizados para entregar e receber os produtos, quais as máquinas que são utilizadas com suas respectivas operações envolvidas, o estoque intermediário e o tempo de operação de cada processo de fabricação.

Após a construção do mapa atual, faz-se necessário o desenvolvimento de um mapa de fluxo de valor futuro, eliminando as possíveis causas de desperdícios e após a conclusão do cenário futuro deve-se traçar o plano de trabalho para conseguir atingir tais objetivos. Para esse desenvolvimento da situação atual para a futura, alguns passos devem ser seguidos, segundo Rendes (2003):

- a) Produção orientada para fluxo específico de família de produtos.
- b) Taxa de produção de acordo com as necessidades dos clientes.

- c) Fluxo contínuo sempre que possível.
- d) Produção puxada sempre que fluxo contínuo for impossível;
- e) Layouts com células em U sempre que possível.
- f) Padrão “Mediante ordem” ao invés de “Fabricação por ordem” ou “Montagem para estoque”.

2.4 ADAPTAÇÃO DO *LEAN PRODUCTION* PARA O *LEAN HEALTHCARE*

Diante de um mercado cada vez mais competitivo, as empresas tiveram a necessidade de melhorar a qualidade de sua empresa visto que cada vez mais os conceitos de melhorias estão se espalhando entre os mercados. Processos produtivos diferenciados podem garantir um nível de excelência para a empresa.

Com a comprovação de bons indicadores do “Sistema Toyota de Produção”, vários outros mercados começaram a adquirir esse conceito de produção e adaptá-los em sua empresa. A indústria automotiva é a pioneira em utilizar esses conceitos, porém, nas últimas décadas vários outros setores começaram a adotar esses métodos, mediante a uma adaptação das características para sua fábrica.

A figura 5 mostra a evolução desse método ao longo de alguns anos, pois começou a ser verificado que a aplicação deste sistema de produção não era de exclusiva aplicação em fábricas de automóveis. Como pode ser verificado, os conceitos de produção enxuta surgiram inicialmente na fábrica de automóveis Toyota seguida de outras empresas no setor automotivo. Aproximadamente em 1984 os conceitos de produção enxuta foram se difundindo para outros setores da manufatura seguida, em 1990, para os prestadores de serviço, e somente no século XXI este sistema começou a ser adaptado e utilizado no setor da saúde.

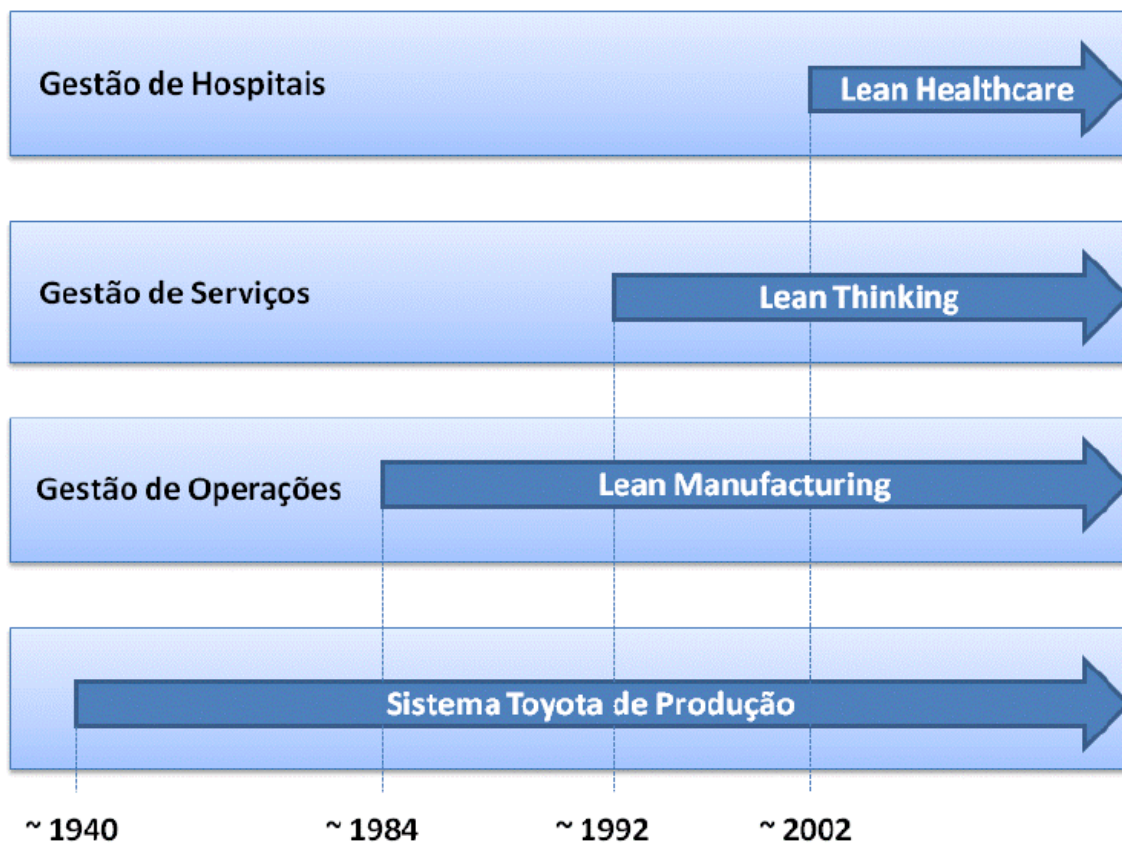


Figura 5 - Evolução dos conceitos *Lean*.
Fonte: Mardegan (2010).

Uma das empresas pioneiras na aplicação dos conceitos de *Lean* no setor da saúde foi a *National Health Service Modernisation Agency* no ano de 2001, localizada na Inglaterra (SOUZA, 2009).

A figura 6, resume a adaptação dos conceitos de *Lean Production* para ser utilizados no setor da saúde, esta adaptação ficou conhecida como *Lean Healthcare*.



Figura 6 - Descrição do *Lean Healthcare*.
Fonte: HOMINISS CONSULTING, 2011.

A figura 6 descreve como seriam aplicados os conceitos de “Produção Enxuta” no setor da saúde. Um dos objetivos principais dessa aplicação seria a diminuição dos custos operacionais dentre os quais podemos citar, a fila de espera, deslocamentos, luz, água, remédios, equipamentos, entre outros. Como consequência da redução de custos, obtém o aumento do faturamento. Sabendo que o hospital possui uma quantidade limite de atendimento, devido a falta de espaço ou de equipamentos, é necessário uma diminuição no *lead time*, pois quanto maior o *lead time* menor será a quantidade de pacientes atendidos, e como consequência, menor será seus ganhos.

Além disso, como os custos fixos mensal dos hospitais são elevados, e a receita é obtida através do tratamento dos pacientes, chega-se a conclusão que quanto maior o fluxo de pacientes maior será o orçamento para pagar as despesas e sua margem de lucro também irá aumentar.

Para aumentar a produtividade do hospital, que é uma relação entre a quantidade produzida sobre o tempo necessário para realizar esse trabalho, é necessário diminuir o *lead time* de atendimento, para que seja possível aumentar o número de pacientes sem precisar modificar, significadamente, seus custos fixos. E

para reduzir o *lead time*, é fundamental verificar as atividades que não estão agregando valor a esse atendimento e tentar eliminá-las ao máximo.

Com a implementação dessas atividades no hospital, benefícios tanto para o hospital como para o paciente acontecerão. Com a diminuição das atividades que Não Agregam Valor (NAV), os funcionários terão um ambiente de trabalho mais organizado, sendo que este mesmo ambiente será utilizado pelos pacientes, menor espera por atendimento, menor chance de erros dos funcionários e fluidez melhor das informações diminuindo com isso a burocracia.

2.5 PESQUISA OPERACIONAL

O objetivo do método é representar uma situação real através de um modelo matemático e buscar, com isso, o melhor cenário para aquele problema, definindo-se claramente seu objetivo principal.

Para a construção de um problema utilizando-se da Pesquisa Operacional, alguns passos devem ser seguidos, entre eles (MAXIMIANO, 2002):

- 1) Definir o problema: qual seu objetivo ao utilizar esse método, quais possíveis caminhos que podem ser adotados para a tomada de decisão, quais restrições envolvidas e os limites dos parâmetros adotados;
- 2) Construir o modelo: definida a etapa anterior, uma análise experimental com gráficos e tabelas devem ser construídas para auxiliar no modelo matemático desenvolvido para que seja uma representação mais próxima do real;
- 3) Solucionar o modelo: diante dos dados de entrada buscar uma solução “ótima” para o modelo representado;
- 4) Validar o Modelo: encontrada a solução, agora é necessário verificar se os resultados obtidos fazem sentido para o problema em questão e se eles vão ser úteis para a tomada de decisão;
- 5) Implementar a solução: buscar caminhos, através da ferramenta de produção enxuta por exemplo, para transferir os dados virtuais em dados reais;

- 6) Avaliação: observar o comportamento dessa solução na empresa, a analisar se o comportamento dos resultados estão de acordo com as previsões realizadas.

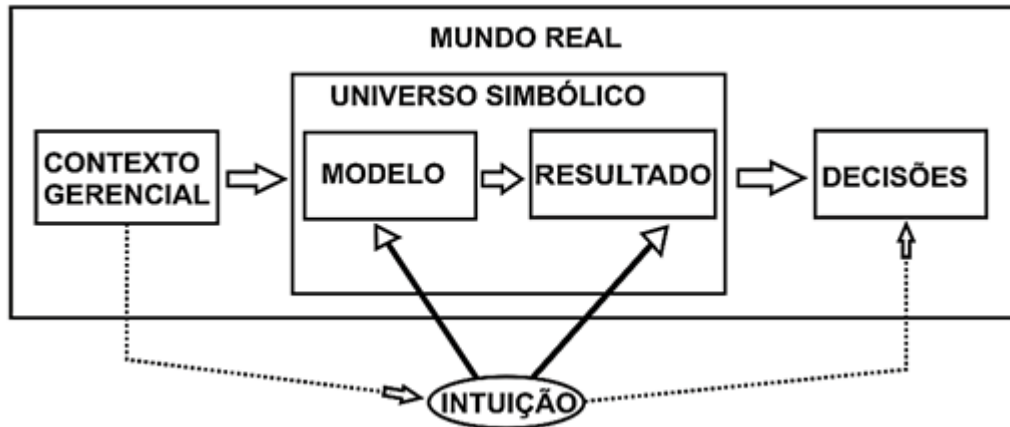


Figura 7: Influência da PO na tomada de decisão.
Fonte: Maximiano (2002)

Existem algumas técnicas utilizadas na P.O, por exemplo:

- Programação Linear: a função objetivo, restrições e variáveis possuem comportamento linear ou de proporcionalidade
- Programação Não Linear: quando a função objetivo ou as restrições, pelo menos uma dessas, possui comportamento não linear.
- Programação Inteira: quando as variáveis possuem comportamento discreto, é necessária a utilização de Programação Inteira.

A Programação Linear é utilizada como fundamental para a compreensão da Programação Não Linear e da Programação Inteira. Goldberg (2000) considera a Programação Linear um *algoritmo* eficiente e de fácil resolução com o auxílio de um *software* computacional. Além disso, esta programação apresenta algumas características:

- a) Proporcionalidade: a resposta do *algoritmo* é proporcional a quantidade das atividades de entrada, ou seja, quanto maior o

número de atividades maior será o consumo dos recursos de entrada.

- b) Aditividade: cada parcela do *algoritmo* somada é igual a atividade total realizada.
- c) Separabilidade: cada parcela da construção do custo pode ser interpretada separadamente em cada atividade a ser realizada.

Para a resolução deste tipo de problema é necessário especificar exatamente seu objetivo. Normalmente esta solução se baseia em maximização do lucro ou minimização dos custos. As restrições envolvidas neste tipo de problema são utilizadas para definir os limites em que o problema será analisado.

Em termos gerais, Shamblin e Stevens Jr (1979), definem a função objetivo da seguinte forma:

$$z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_jx_j + \dots + c_nx_n \text{ para } n \text{ variáveis} \quad (1)$$

Onde:

x_j = variável decisória para a j -ésima variável.

c_j = coeficiente de lucro (ou custo) para a j -ésima variável.

z = função a ser maximizada (ou minimizada).

Sujeita as restrições:

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1j}x_j + \dots + a_{1n}x_n &\leq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2j}x_j + \dots + a_{2n}x_n &\leq b_2 \\ \dots &\dots \\ a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{ij}x_j + \dots + a_{in}x_n &\leq b_i \\ \dots &\dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mj}x_j + \dots + a_{mn}x_n &\leq b_m \end{aligned} \quad (2)$$

Onde:

a_{ij} = coeficiente da j -ésima variável na i -ésima restrição

b_i = limitação da capacidade da i -ésima restrição

É possível também definir na forma de somatório ou matricial:

$$z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (3)$$

Sujeito a restrição:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \quad \text{para todo } i = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

E na forma matricial é definido como:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2j} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{i1} & a_{i2} & \dots & a_{ij} & \dots & a_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mj} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_j \\ \dots \\ x_n \end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_i \\ \dots \\ b_m \end{bmatrix} \quad (5)$$

Essa modelagem é importante para a construção matemática do problema, possibilitando com isso a utilização dos métodos numéricos.

2.6 MÉTODOS NUMÉRICOS

Para que o resultado se aproxime cada vez mais da realidade, é necessário analisar o maior número de variáveis que estão influenciando no desempenho do problema. Para a construção do problema é necessário a análise de algumas características:

- 1) As relações da estrutura do sistema representado.
- 2) O inter-relacionamento entre os fluxos.
- 3) O comportamento funcional dos subsistemas.

Andrade (2009), afirma que nos problemas de otimização é possível identificar a área de restrição de atuação do método, de acordo com as características de seus modelos:

- a) De acordo com as características analíticas do modelo.
- b) Na melhoria mensurável do processo. É realizada análise das possibilidades de resultados que o problema pode possuir.
- c) É necessário verificar as interações que estão sendo envolvidas no modelo.

Segundo Ackoff (1971), não é possível criar um *algoritmo* genérico que descreva os passos necessários para a modelagem de um sistema, mas é possível criar uma padronização parcial desse processo para sua resolução:

- Modelos simples ou evidentes, possuem, geralmente, poucas variáveis e de fácil compreensão, e são construídos de forma direta sem a necessidade de um auxílio de outra ferramenta.
- Modelos de fácil compreensão e com variáveis com grau elevado de complexidade. Busca-se, normalmente, um problema análogo a esse para auxiliar em sua resolução
- Modelos de difícil compreensão e com variáveis evidentes ou controladas. Conhecendo possíveis respostas do sistema a função objetivo é conhecida como “caixa preta”.

Uma das ferramentas utilizadas na resolução de problemas de otimização é a “Programação Quadrática Seqüencial” (PQS). Esse conceito se baseia em resolver um problema através de vários problemas mais simples. De acordo com Martinez (1995), dada uma solução no qual não é possível um controle da função em relação a pontos de máximos e mínimos, defini-se uma problema análogo ao original facilitando sua resolução. O método mais simples que envolve este conceito é o método de Newton. A PQS é uma generalização do método de Newton para um campo maior de aplicação em problemas de otimização. Este problema é composto

pela função objetivo e um conjunto de restrições lineares ou não-lineares, onde em cada passo a função objetivo é substituída por uma aproximação quadrática, que em comparação com o problema original pode ser considerado mais simples, e as restrições por inequações ou equações lineares.

A forma padrão para representar a programação quadrática seqüencial é (Martinez, 1995):

$$\text{Minimizar } f(x) \text{ sujeita } h(x) = 0, l \leq x \leq u \quad (6)$$

Onde:

$$f : R^n \rightarrow R, h : R^n \rightarrow R^m. \quad (7)$$

Os valores de l e u podem assumir valores de até $-\infty$ e $+\infty$, respectivamente.

Martinez (1995) ainda completa que as restrições envolvidas na função objetivo podem ser representadas como:

$$c(x) \geq 0, \quad (8)$$

Pode ser transformada em:

$$c(x) - z = 0, z \geq 0. \quad (9)$$

Assim, acrescenta-se uma nova variável (z) ao problema, mas isso não deve ser encarado como uma desvantagem, pois é neste tipo de formato que *softwares* especializados como, por exemplo, o "MATLAB" utilizam para interpretar seus algoritmos.

Substituindo a função objetivo e as restrições por uma aproximação linear, associado a equação PLP, teremos (Martinez, 1995):

$$\text{Minimizar } f(x_k) + \nabla f(x_k)^T (x - x_k) + \frac{1}{2} (x - x_k)^T B_k (x - x_k) \quad (10)$$

$$\text{sujeita } h'(x_k)(x - x_k) + h(x_k) = 0, \quad l \leq x \leq u \quad (11)$$

Para chegar na equação acima, $f(x) \approx f(x_k) + \nabla f(x_k)(x - x_k)$ e $h(x) \approx h(x_k) + h'(x_k)(x - x_k)$. Com essas modificações a equação se transformou em uma programação linear ou “Programação linear seqüencial”.

Podemos também aproximar para uma função quadrática, representado por:

$$f(x) \approx f(x_k) + \nabla f(x_k)^T (x - x_k) + \frac{1}{2} (x - x_k)^T B_k (x - x_k) \quad (12)$$

Assim, a função objetivo e as restrições são representadas pelas equações (10) e (11), respectivamente.

Em comparação com a equação (6), esta solução é mais simples, para uma solução eficiente é necessário *softwares* especializado.

Um dos problemas em se utilizar a equação (10), é que esta resolução pode não ter solução. E isso pode acontecer pelas seguintes razões (Martinez, 1995):

- 1) Região factível da equação (10) é vazia.
- 2) Quando $h'(x_k)$ é menor que m e $h(x)$.
- 3) Função objetivo não está limitada na região inferior da região factível.
- 4) A solução do problema pode não ser a única.

Caso não aparecer nenhuma dessas características citadas anteriormente, os problemas que envolvem funções quadráticas terão uma resolução.

3. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso proposto foi no Instituto do Câncer em São Paulo (IC). Os dois objetivos principais de análise eram a aplicação da metodologia Lean Healthcare no hospital, otimizar esta ferramenta para que o hospital consiga atender um maior número de pacientes e aumentar seu lucro e reduzir o gargalo de alguns leitos. Para este sistema utiliza-se a função lucro representando a função principal do sistema e para as restrições utilizam-se os limites de ocupação dos leitos pelos pacientes, evitando-se assim gargalos nos leitos.

3.1 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA LEAN HEALTHCARE NO I.C.

Para implementar a metodologia *Lean* no hospital, será realizado em etapas, iniciando na análise do fluxo atual dos indicadores de eficiência, eficácia e qualidade do processo e a identificação dos potenciais de melhorias.

A primeira etapa esta relacionado com o Pronto Atendimento (P.A), soluções apresentados no Quadro 1 (Fonte: HOMINISS, 2012).

PRONTO ATENDIMENTO, EXAMES E CONSULTAS	
DESAFIOS	SOLUÇÕES
Elevados número e variedade de pacientes: o P.A, exames e consultas são caracterizados por atenderem números elevados de pacientes com necessidades muito distintas, desde simples queixas até emergências complexas;	Reorganização de layout: O fluxo dos pacientes pelo Pronto Atendimento foi projetado para minimizar a movimentação de pacientes, médicos, enfermeiras e auxiliares, proporcionar maior conforto aos pacientes, aumentar a capacidade de atendimento e favorecer a gestão visual dos pacientes pelo setor. Isto exigiu que o

	<p>layout das salas de espera e de medicação fosse projetado para atender aos requisitos mencionados;</p>
<p>Imprevisibilidade da demanda: a taxa de chegada de pacientes oscila a todo o momento e não existe um comportamento padrão que possa ser previsível;</p>	<p>Padronização da triagem: Famílias foram criadas para triar os pacientes de acordo com a gravidade da enfermidade. Os pacientes passaram a receber uma identificação através de pulseiras coloridas que determinavam a família à qual pertenciam;</p>
<p>Baixa qualidade da triagem e dos atendimentos: a intensidade do fluxo somada à dificuldade de gerenciamento dos atendimentos faz com que o trabalho dos colaboradores (médicos, enfermeiras e auxiliares) não seja realizado de forma organizada e padronizada, o que pode provocar a má qualidade do diagnóstico e, conseqüentemente, um tratamento inadequado;</p>	<p>Gestão visual: O controle dos pacientes no Pronto Atendimento foi facilitado com a implementação de uma Gestão Visual que contempla o status dos pacientes pelos processos e os horários de entrada e saída;</p>
<p>Elevados tempos de espera dos pacientes para serem atendidos: os pacientes chegam a esperar horas para serem atendidos e os índices de reclamações aumentam proporcionalmente.</p>	<p>Sistema puxado para reposição de materiais e medicamentos: Os estoques de materiais e medicamentos foram dimensionados para atender a demanda do setor e sua reposição passou a ser realizada via sistema puxado, com ligação direta com a Farmácia Central.</p>

Quadro 1: Soluções encontradas para problemas encontrados no P.A

Implementadas essas mudanças no sistema, o hospital obteve uma redução de 40% da movimentação de pacientes, médicos, enfermeiras e auxiliares. Além disso, obteve um aumento de 80% na capacidade de atendimento.

A segunda etapa está relacionada com os problemas encontrados na radioterapia, descrito no Quadro 2 (Fonte: HOMINISS, 2012).

RADIOTERAPIA E QUIMIOTERAPIA	
DESAFIOS	SOLUÇÕES
<p style="text-align: center;">Elevado número de pacientes de radioterapia: A Radioterapia do Instituto atende em média 320 pacientes por dia. Isto exige que os recursos do setor sejam altamente eficientes e bem planejados;</p>	<p style="text-align: center;">Redução dos tempos de troca das máquinas: Ganhos de produtividade puderam ser observados com a redução do tempo de set up da máquina de Cobaltoterapia. O intervalo de tempo entre o término de uma aplicação e o início da aplicação seguinte foi reduzido com a eliminação de atividades que não agregam valor enquanto a máquina não está operando;</p>
<p style="text-align: center;">Encaixes no agendamento: Uma grande quantidade de pacientes é encaixada em horários diferentes dos horários planejados para a aplicação de sua radioterapia. Isto ocorre por diversos motivos, como por exemplo, a diferença de horários entre a consulta de reavaliação do médico e a aplicação da radioterapia.</p> <p style="text-align: center;">Como conseqüência, atrasos</p>	<p style="text-align: center;">Padronização de atividades: A carga de trabalho dos técnicos foi redistribuída e nivelada. O grande objetivo da padronização foi a eliminação de atividades burocráticas e não assistenciais que eram de responsabilidade dos técnicos. Desta forma, foi aumentado o tempo disponível destes profissionais ao cuidado dos pacientes;</p>

se acumulam na agenda diária de aplicação e longas filas de espera se formam;	
<p>Dificuldade de gerenciamento do agendamento: Os elevados números de atendimentos somados ao alto giro de pacientes na radioterapia e quimioterapia dificultam o planejamento e o controle da agenda de aplicações. Uma das principais dificuldades encontradas pelos responsáveis destas tarefas é o gerenciamento de altas de pacientes.</p>	<p>Reestruturação do sistema de agendamento: O sistema de agendamento foi projetado para facilitar o planejamento de ocupação das máquinas de acordo com a duração de aplicação prevista para cada paciente e reduzir a quantidade de encaixes através da sincronização do horário de consulta com o médico com o horário da aplicação. Além disso, o novo agendamento facilita o controle de altas dos pacientes.</p>

Quadro 2: Soluções encontradas para problemas encontrados na radioterapia e quimioterapia.

Os resultados obtidos, expostas no quadro 2, resultaram em um aumento de 23% no faturamento da radioterapia, aumento de 13% de produtividade e redução de 28% do *lead time* entre a primeira consulta e o início do tratamento.

A terceira etapa foi encontrar soluções para os problemas relacionados com o centro cirúrgico. Os problemas e as soluções estão descritos no Quadro 3 (Fonte: HOMINISS, 2012).

CIRURGIAS	
DESAFIOS	SOLUÇÕES
<p>Agendamento de cirurgias descentralizado: As cirurgias eram agendadas pelos médicos</p>	<p>Criação da Central de agendamento de cirurgias: As cirurgias passaram a ser agendadas</p>

<p>diretamente no Centro Cirúrgico, pois não havia uma central de agendamento que consolidasse todas as informações em um único local;</p>	<p>por uma central que visualiza a ocupação do Centro Cirúrgico e leva em consideração os recursos restrição, tais como: instrumental cirúrgico, vagas de leitos, materiais, medicamentos e capacidade do Centro Cirúrgico;</p>
<p>Número de leitos cirúrgicos e leitos de UTI limitado: Um dos grandes gargalos do fluxo do paciente cirúrgico é o processo de Internação. Muitas cirurgias são canceladas devido à falta de vagas de leitos nas Unidades de Internação e na UTI;</p>	<p>Fluxo contínuo e redução de lead time: Os exames pré-operatórios passaram a ser realizados em fluxo, em um mesmo dia. As consultas com o Cardiologista e com o Anestesista, que antes eram realizadas em semanas diferentes, passaram a ser agendadas para um mesmo dia, contribuindo para a redução de lead time entre o diagnóstico e a cirurgia.</p>

Quadro 3: Soluções encontradas para problemas encontrados no centro cirúrgico.

Após implementadas essas mudanças os resultados encontrados foi de um aumento de 42% do faturamento de cirurgias, aumento da quantidade de cirurgias em 30% e redução de 50% do *lead time* entre a primeira consulta e a cirurgia.

3.2 OTIMIZANDO O LEAN HEALTHCARE POR MEIO DE MÉTODOS NUMÉRICOS

Aplicado o *Lean Healthcare* e observando sua eficácia, os resultados obtidos foram analisados para a implementação da segunda melhoria, a construção do modelo matemático do sistema hospitalar e aplicação dos métodos numéricos sobre este modelo com o objetivo de aumentar o lucro do hospital e reduzir os gargalos nos leitos. Primeiramente é necessário determinar qual a quantidade de pacientes que são atendidos por dia e qual a taxa de ocupação nos leitos de cada

especialidade médica, esse é um dos motivos que se torna necessário aplicar a metodologia *Lean* antes da modelagem matemática, pois o intervalo da quantidade de pacientes e da taxa de ocupação aumentará, possibilitando a busca do ponto ótimo em um intervalo maior. Feito isso, buscou-se verificar também quais os custos envolvidos com os encaminhamentos que os pacientes realizavam de acordo com sua enfermidade, esses custos foram separados de acordo com a especialidade médica.

Para a construção das restrições, ou seja, determinar os limites de ocupação dos pacientes nos leitos, o problema concentra-se nas porcentagens de ocupação dos pacientes nos leitos de acordo com o tipo de doença. Este tipo de informação se torna importante tanto para limitar a ocupação dos leitos evitando gargalos como também para verificar a necessidade ou não de uma expansão em alguns leitos ou então alterar o *layout* de algum ambiente em análise.

Para o modelo da função principal, verificou-se o faturamento e o custo das especialidades médicas em que o paciente, com determinado tipo de doença, era encaminhado a realizar, além dos custos fixos que o hospital possui, construindo-se assim a função lucro. A função lucro está relacionada com as restrições da quantidade de pacientes que estão sendo atendidos, como foi explicado anteriormente.

Tentar solucionar este tipo de problema somente com a ferramenta do *Lean Healthcare* acaba se tornando inviável, devido a resposta deste problema se encontra em um intervalo de possíveis soluções. Por isso busca-se unir a metodologia *Lean* aplicado a métodos numéricos para resolver problemas onde a solução está dentro de um intervalo numérico no qual o método busca a solução ótima para o sistema, respeitando suas restrições.

3.2.1 MODELAGEM DO PROBLEMA

Primeiramente, foi necessário compreender todo o sistema a ser analisado no hospital. Para isso, considerou-se a média do ano de 2012 de atendimento de cada especialidade médica do hospital dentre as quais, cabeça e pescoço, CCO, dermatologia, ginecologia, hematologia, oncologia, pneumologia, urologia e oncologia Santa Casa. Após isso, verificou-se qual a taxa de ocupação dessas

especialidades nas consultas, no pronto atendimento (PA), nos exames, na radioterapia, na quimioterapia e nas internações. O mapeamento do sistema pode ser verificado na figura 8.

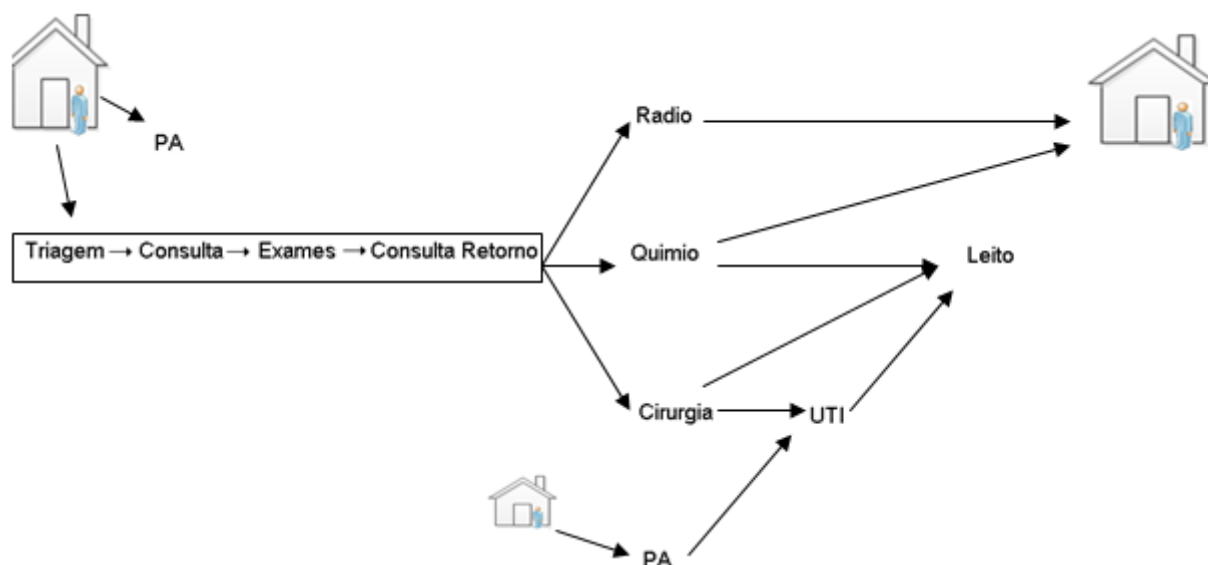


Figura 8: Mapeamento do sistema hospitalar em estudo.

Fonte: Hominiss, 2012.

Para facilitar a coleta e interpretação das informações que serão utilizadas para o modelo, construiu-se uma tabela para modelar a função objetivo, ou seja, o lucro, representado na tabela 1.

	PA	Leitos	UTI	CCO	Consulta	Radioterapia	Quimioterapia	Exames
Pessoal	R\$ 38 105.32	-R\$ 315 326.39	-R\$ 73 062.31	-R\$ 81 930.85	-R\$ 83 028.31	-R\$ 102 225.02	-R\$ 38 383.53	-R\$ 14 900.98
Materiais	R\$ 7 599.03	-R\$ 103 539.03	-R\$ 43 239.28	-R\$ 92 577.53	-R\$ 6 989.59	-R\$ 1 435.71	-R\$ 534 243.27	-R\$ 33 246.67
Gerais	-R\$ 52 800.00	-R\$ 493.65	-R\$ 48 479.09	-R\$ 192 949.11	-R\$ 108 376.47	-R\$ 448 420.40	-R\$ 4 143.56	-R\$ 288 100.03
Indiretos	R\$ 441.05	-R\$ 34 986.48	-R\$ 1 901.49	-R\$ 1 683.76	-R\$ 5 268.06	-R\$ 1 358.04	-R\$ 1 978.68	-R\$ 1 342.82
Rateios	R\$ 37 871.66	-R\$ 241 330.32	-R\$ 49 807.34	-R\$ 74 705.98	-R\$ 140 527.85	-R\$ 66 951.47	-R\$ 115 406.36	-R\$ 68 562.21
Fixo	-R\$ 14 253.63	-R\$ 350 806.51	-R\$ 123 442.88	-R\$ 276 563.73	-R\$ 196 672.84	-R\$ 552 003.46	-R\$ 44 505.77	-R\$ 304 343.83
Variável	R\$ 7 599.03	-R\$ 103 539.03	-R\$ 43 239.28	-R\$ 92 577.53	-R\$ 6 989.59	-R\$ 1 435.71	-R\$ 534 243.27	-R\$ 33 246.67
Rateio	R\$ 37 871.66	-R\$ 241 330.32	-R\$ 49 807.34	-R\$ 74 705.98	-R\$ 140 527.85	-R\$ 66 951.47	-R\$ 115 406.36	-R\$ 68 562.21

Tabela 1: Informação de faturamento e lucro de cada ocupação

O lucro bruto que é obtido atualmente no hospital, concordando com a tabela 1, é de R\$ 264.528,00

Para determinar a porcentagem de ocupação de cada especialidade nos leitos, verificou-se a média de atendimentos dos pacientes relacionados com cada especialidade, sendo apresentados na tabela 2.

Especialidade	Consulta	PA	Exames	Radio (600C e 6-100)	Radio (Cobalto)	Quimio	Internações		Total de Internações	Dias internados
Cabeça e pescoço	100.0%	21.5%	67.8%	31.9%	0.0%	14.9%	23.0%	12.8%	35.8%	5.00
CCO	100.0%	29.9%	71.3%	36.3%	0.0%	35.7%	25.2%	32.8%	58.0%	9.00
Dermatologia	100.0%	6.6%	23.4%	10.6%	0.0%	4.0%	7.3%	2.4%	9.7%	8.00
Ginecologia	100.0%	17.5%	69.7%	0.0%	31.5%	30.1%	28.9%	9.6%	38.5%	5.00
Hematologia	100.0%	16.1%	66.4%	10.3%	0.0%	36.8%	7.1%	44.0%	51.1%	9.00
Oncologia	100.0%	37.8%	72.9%	17.8%	0.0%	80.2%	10.1%	47.2%	57.3%	5.00
Pneumologia	100.0%	21.8%	65.0%	24.7%	0.0%	20.6%	9.5%	30.4%	39.9%	9.00
Urologia	100.0%	12.6%	80.8%	29.8%	0.0%	17.6%	18.5%	6.4%	24.9%	4.00
Oncologia Sta Casa	100.0%	12.6%	72.9%	5.3%	0.0%	80.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.00

Tabela 2: Porcentagem de ocupação de cada especialidade

A figura 9 mostra a porcentagem de ocupação atual do hospital em cada especialidade nas consultas, PA, exames, radioterapia, quimioterapia e internações.

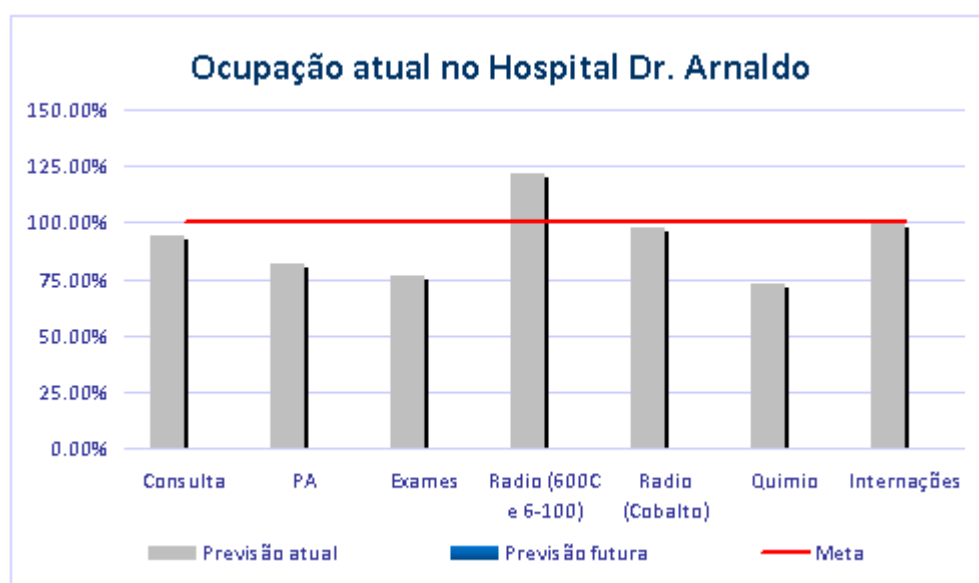


Figura 9: Representação atual de ocupação em cada leito.

Fonte: HOMINISS, 2012.

Observando a figura 9 pode ser visto que o hospital, atualmente, apresenta um gargalo na radioterapia e a ocupação nos outros leitos se mostra abaixo dos 100%, exceto internações. Isso mostra que a radioterapia é sobrecarregada, gerando atrasos nas consultas. E como há um custo fixo em manter os leitos e estes estão com a ocupação abaixo da meta é possível verificar um desperdício de dinheiro em quase todos os leitos, levando-se em conta o custo fixo para mantê-los. Em cada especialidade foi verificada que há uma quantidade máxima e uma mínima de ocupação, como mostra o Quadro 4.

Especialidade	Mínimo	Máximo
Cabeça e pescoço	25	55
CCO	32	70
Dermatologia	9	19
Ginecologia	25	54
Hematologia	9	20
Oncologia	46	100
Pneumologia	11	24
Urologia	30	66
Oncologia Sta Casa	0	60
Total	187	468

Quadro 4: Quantidade mínima e máxima das especialidades.

Devido ao grande número de combinações possíveis de pacientes para cada tipo de especialidade, utilizou-se um método para solucionar este tipo de problema para que fosse possível atingir o ponto máximo no qual as duas soluções pretendidas fossem atingidas, ou seja, ocupação dos leitos o mais próximo do 100%, não ultrapassando este valor, e o faturamento máximo diante do contexto em que o hospital está inserido. Com a ocupação das especialidades o mais próxima de 100%

é possível aumentar o faturamento do hospital, já que o custo fixo do médico e das operações funcionais (luz, água, limpeza) vai ser gasto da mesma forma que se houvesse muitos ou poucos pacientes sendo atendidos.

A função lucro foi desenvolvida através do custo e do faturamento do paciente em cada leito e também do custo e do faturamento fixo do hospital, independente de um maior ou menor fluxo de pacientes no local, sendo dada por:

$$L = F(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9) - C, \quad (13)$$

onde:

F = faturamento nos setores em estudo do hospital;

C = custo do hospital para manter os setores;

L = Lucro.

As restrições foram desenvolvidas verificando qual a porcentagem que os pacientes de determinado tipo de doença freqüentavam as especialidades medicas durante todo o processo em que ele permanecia no hospital, tendo um limite de ocupação de 100%, como mostrado a seguir:

1) Restrição na Radioterapia:

$$R_1 = G(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9) - 100 \quad (14)$$

2) Restrição na Consulta:

$$R_2 = H(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9) - 100 \quad (15)$$

3) Restrição no P.A:

$$R_3 = J(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9) - 100 \quad (16)$$

4) Restrição no Exame:

$$R_4 = M(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9) - 100 \quad (17)$$

5) Restrição na Radioterapia Cobalto:

$$R_5 = N(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9) - 100 \quad (18)$$

6) Restrição na Quimioterapia:

$$R_6 = P(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9) - 100 \quad (19)$$

7) Restrição na Internação:

$$R_7 = Q(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9) - 100 \quad (20)$$

Tendo a função principal e suas restrições, primeiramente buscou-se validar o método realizando uma simulação que descrevesse a situação atual do hospital. Utilizaram-se informações reais do hospital de 2012 da quantidade de pacientes em determinados tipos de especialidades médicas. Tendo essa base de dados e identificando quais eram as relações entre esses dados, realizou-se a simulação e compararam-se os dados que o hospital tinha do faturamento e da porcentagem de ocupação dos anos anteriores com os resultados obtidos através da simulação, verificou-se igualdade nos resultados, com isso foi possível validar esta equação empírica para confiável.

Modelada a função objetivo e suas restrições, foi aplicado o método SQP para a resolução deste sistema, sendo o método descrito a seguir (Teles, 2010):

O SQP tenta resolver o problema de otimização iterativamente, onde a solução em cada passo é obtida pela solução de uma aproximação do problema onde o objetivo ($f(x)$) é substituído por uma aproximação quadrática e as restrições ($h(x)$ e $g(x)$) são substituídas por aproximações lineares. O método SQP, a cada iteração, resolve o seguinte problema de programação quadrática:

$$\min \nabla^T f(x^k) d + \frac{1}{2} d^T H(x^k, \lambda^K, \mu^K) d \quad (21)$$

$$\text{Sujeito} \begin{cases} h(x^k) + \nabla^T h(x^k) d = 0 \\ g(x^k) + \nabla^T g(x^k) d \leq 0 \end{cases} \quad (22)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Concluída a simulação do algoritmo e para facilitar a comparação entre os resultados, a figura 10 apresenta os resultados que o hospital conseguia atingir comparativamente com os resultados obtidos com a utilização do método SQP, respeitando todas as restrições estabelecidas anteriormente.

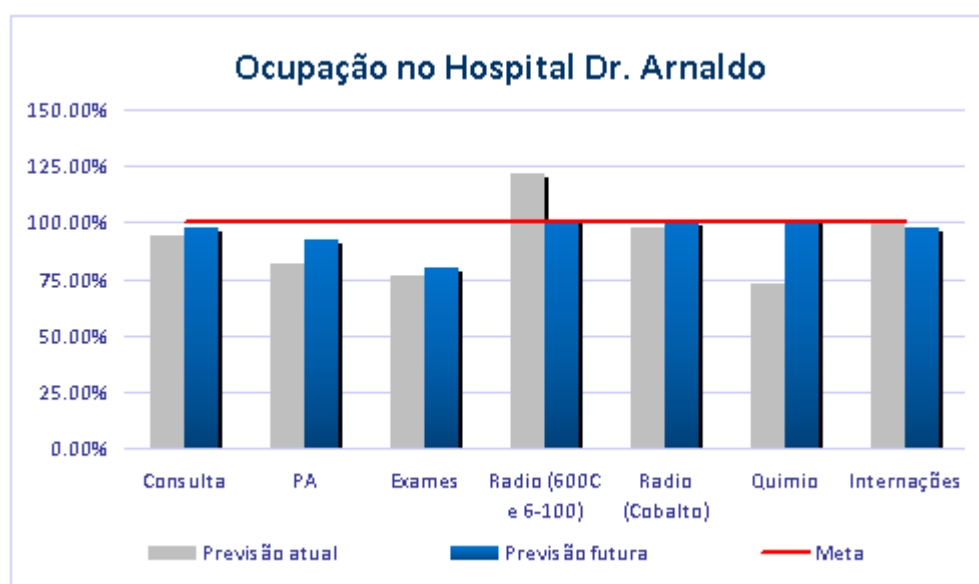


Figura 10: Comparativo entre o antes e o depois da aplicação do método.

Fonte: Autoria Própria.

Além de verificar um aumento na porcentagem de ocupação, o lucro bruto do hospital passou de R\$ 264.528,00 para R\$ 525.941,00, um aumento de 98% no lucro. Além do aumento expressivo no lucro, a quantidade de paciente atendidos que antes era de 364 pacientes por dia passou para 383 pacientes por dia, um aumento de 5%. Como foi verificado, o hospital além de atingir seu objetivo principal de aumentar o lucro também conseguiu diminuir o gargalo que existia na radioterapia e aumentou o número de pacientes possíveis de se atender diariamente.

5. CONCLUSÕES

Aplicar o método de otimização sem ter implementado a metodologia *Lean Healthcare* também seria possível, porém, as restrições e os parâmetros de análise seriam mais restritos e os resultados obtidos estariam abaixo do alcançado. O *Lean Healthcare* melhorou aspectos funcionais e operacionais do hospital, e o método S.Q.P definiu o cenário em que essas melhorias atingiria o seu aproveitamento máximo.

Os resultados encontrados com a junção do *Lean Healthcare* com o modelo matemático foram bastante positivos :

- Redução do tempo de espera;
- Redução do tempo de atendimento;
- Redução do tempo de resposta;
- Redução do espaço ocupado;
- Redução dos custos operacionais;
- Melhoria do serviço aos pacientes;
- Aumento da produtividade;
- Aumento da capacidade de resposta sem aumento de pessoas ou de equipamentos;

Com a validação do modelo e realizando as adaptações necessárias, é possível aplicá-lo em outros hospitais mesmo que estejam inseridos em diferentes contextos, pois a linha de estudo para construção do modelo segue a mesma base.

REFERÊNCIAS

ACKOFF, RUSSEL L.; SASIENI, MAURICE W. **Pesquisa Operacional**. 1ª Edição. Editora LTC. Rio de Janeiro, 1971.

ANDRADE, EDUARDO LEOPOLDINO DE. **Introdução à pesquisa operacional: métodos e modelos para a análise de decisão**. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

BAKER, M.; TAYLOR, I. (2009) **Making Hospitals Work**. Herefordshire, England Enterprise Academy Ltd.

BARQUIN C., M. **Dirección de hospitales: sistemas de atención médica**. 6. ed. México: Interamericana, 1992.

BRYMAN, A. **Research Methods and Organization Studies**. New York: Routledge, 1989.

CHIAVENATO, I. (2000). **Introdução à Teoria Geral da Administração**, Editora Campus

DIAS, R. L. T. (2006). **Conceitos de manufatura enxuta aplicados a uma indústria de suprimentos e dispositivos médicos**. Tese de monografia – Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2006.

FABBRI, B. F. P. (2011). **Lean Healthcare: um levantamento das oportunidades de ganho em um hospital brasileiro**. Trabalho de conclusão de curso – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

FAJARDO ORTIZ, G. **Teoría y práctica de la administración de la atención médica y de hospitales**. México: La Prensa Médica Mexicana 1972.

FLEURY, A. C.; CORREA, A; VARGAS, N. **Organização do Trabalho: uma abordagem interdisciplinar**. São Paulo: Atlas, 1994.

GOLDBARG, MARCO CÉSAR. **Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos.** Rios de Janeiro: Campus, 2000.

HINES, P.; TAYLOR, D. (2000) **Going Lean: a Guide to Implementation.** Cardiff: Lean Enterprise Research Center.

HOMINISS *LEAN LEARNING & LEAN CONSULTING.* **Apostilas do Programa de Capacitação em Lean Production.** Campinas, 2011.

LIKER, J. K. (2005). **O Modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo.** Tradução de Lene Belon Ribeiro. Porto Alegre, Bookman.

MARDEGAN, R. (2010). **Análise do potencial de melhoria de um hospital a partir da utilização da filosofia Lean Healthcare.** Trabalho de conclusão de curso (MBA Executivo), Fundação Instituto de Administração, São Paulo.

MARTINEZ, J. M. (1995). **Métodos computacionais de otimização.** In: Colóquio Brasileiro de Matemática, 20, Rio de Janeiro: Instituto de Matemática Pura e Aplicada.

MAXIMIANO, ANTONIO CÉSAR AMARU. **Teoria geral da administração: da revolução urbana à revolução digital.** 3 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno.** Rio de Janeiro: Prentice-Hall, 1985.

OHNO, TAIICHI. (1997). **O sistema Toyota de produção – Além da produção em Larga Escala.** Editora Bookman.

POLLICK, Michael. **What is Lead Time?.** Wise Geek. Disponível em <<http://w.wisegeek.com/what-is-lead-time.htm>>. Acesso em 12/02/2013.

ROTHER, M.; SHOOK, J. (1999). **Aprendendo a Enxergar – Mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício.** São Paulo, SP. *Lean Institute Brasil*

SELLTIZ, C; WRIGHTSMAN, L.S.; COOK, S.W.; **Métodos de Pesquisa nas Relações Sociais**. São Paulo: E.P.U. Editora Pedagógica e Universitária. 1974.

SHAMBLIN, James E., STEVENS JR, G. T. **Pesquisa operacional**: uma abordagem básica. São Paulo: Atlas, 1979.

SHINGO, S. (1996). **O sistema Toyota de Produção do ponto de vista da engenharia de produção**. Porto Alegre, Bookman.

TELES, J. P. (2001) **Hospitais e programas de qualidade no estado de São Paulo**. Revista de administração de Empresas, São Paulo, v.41.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; (1992). **A máquina que mudou o mundo**. Campus, Rio de Janeiro.