

SIMULAÇÃO POR EVENTOS DISCRETOS PARA A OTIMIZAÇÃO DE UMA
CLÍNICA DE FISIOTERAPIA

Javier Villamizar Ramírez

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM
ENGENHARIA BIOMÉDICA.

Aprovada por:

Prof. Renan Moritz Varnier Rodrigues de Almeida, Ph.D.

Prof. Wagner Coelho de Albuquerque Pereira, D.Sc.

Prof. Roberto Macoto Ichinose, D.Sc.

Prof. Sergio Miranda Freire, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

DEZEMBRO DE 2006

VILLAMIZAR, JAVIER RAMÍREZ

Simulação por eventos discretos para a
otimização de uma clínica de fisioterapia
[Rio de janeiro] 2006.

XI, 76 p., 29,7 cm (COPPE/UFRJ,
M.SC., Engenharia Biomédica, 2006)

Dissertação – Universidade Federal do
Rio de janeiro, COPPE.

1. Simulação computacional por eventos
discretos.
2. Otimização de serviços de saúde.
I. COPPE/UFRJ II. Título (série).

Dedicatória

A Dios por darme la salud, sabiduría, persistencia, paciencia, esperanza y fe virtudes con las cuales cumplí esta gran meta en mi vida.

A mis Padres Betsy y Ramón y a mis hermanos Lile y Moncho, por haberme dado el amor y apoyo moral y económico necesarios para conseguir mis sueños, sus oraciones y palabras de aliento en la distancia siempre me acompañaron y me dieron el valor para recorrer este camino lleno de experiencias significativas.

Con gran amor a mi hijo Santiago, ángel, motivo de inspiración e incentivo para crecer cada día más como Padre y como persona.

“Cogito ergo sum”

René Descartes

Agradecimentos

Aos meus orientadores Professor Renan e Professor Wagner, Mestres que compartilharam seu conhecimento, apoio e experiência para lidar com as muitas questões a cada dia na difícil tarefa de pesquisador.

Ao Doutorando Fernando Coelli, quem compartilhou seu conhecimento e suas experiências para acrescentar no meu trabalho.

A Diana, quien con su voz desde la distancia siempre me animo a luchar por mis objetivos, su amor estuvo presente en momentos de soledad.

Às minhas Amigas e Amigos que são muitos (a Sandra, Mariana, Juliana, Thaís, Kelly Cristina, e o Zé, Cláudio, Thiago, Paulinho, Will, Felipe, Elkin, Maggi). Estou orgulhoso e honrado de ter amigos como vocês. Obrigado por terem me acolhido e oferecido a sua amizade sincera e momentos compartilhados na minha estadia no Brasil, esses momentos e pessoas são inesquecíveis.

Aos Mestrandos e Doutorandos do Laboratório de Engenharia de Sistemas de Saúde (LESS) pelas constantes trocas de conhecimento e pela boa convivência.

Aos Professores do Programa de Engenharia Biomédica (PEB) por terem brindado a oportunidade de desenvolver minhas habilidades, me ensinando e incentivando na pesquisa do conhecimento científico.

A Camila Furtado e LÍlian Braga da diretoria da Clínica Fisio-Barra, Universidade Estácio de Sá e aos profissionais e estagiários por permitir efetuar este estudo.

A CAPES pelo apoio financeiro com a bolsa de estudos.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

SIMULAÇÃO POR EVENTOS DISCRETOS PARA A OTIMIZAÇÃO DE UMA
CLÍNICA DE FISIOTERAPIA

Javier Villamizar Ramírez

Dezembro / 2006

Orientadores: Renan Moritz Varnier Rodrigues de Almeida

Wagner Coelho de Albuquerque Pereira

Programa: Engenharia Biomédica

O objetivo deste trabalho foi a construção e análise de um modelo computacional por eventos discretos para uma clínica de Fisioterapia da cidade do Rio de Janeiro. Dados de atendimento e chegada de pacientes no período de novembro de 2005 a abril de 2006 foram usados para obter os parâmetros da modelagem. Estratégias de simulação variando o número de pacientes, os recursos e o agendamento foram testadas para otimizar a capacidade e produção da Clínica. Constatou-se que a Clínica estava usando o 72% da sua capacidade total e que as estratégias estudadas poderiam modificar significativamente a sua produção (em torno de 21% de aumento). A técnica mostrou-se útil para analisar as possíveis configurações que maximizem o serviço fisioterápico.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for degree of Master of Science (M.Sc.)

DISCRETE EVENT SIMULATION FOR THE OPTIMIZATION OF A
PHYSIOTHERAPY CLINIC

Javier Villamizar Ramírez

December / 2006

Advisors: Renan Moritz Varnier Rodrigues de Almeida

Wagner Coelho de Albuquerque Pereira

Department: Biomedical Engineering

The objective of this work was the construction and analysis of a discrete-events computational model for a Physiotherapy clinic in the city of Rio de Janeiro, RJ, Brazil. Data on patients arrivals and attendance in the period November 2005 - April 2006 was used for defining the model parameters. The simulation strategies concerned varying the number of patients, the clinic resources and the arrival scheduling, in order to optimize the clinic capacity and production. It was observed that the clinic is using 72% of its total capacity and that the studied strategies could significantly modify its productivity (around 21% of increase). The technique appears to be useful allowing for the analysis of the configurations that maximize clinic performance.

Sumário

Capítulo I

I Introdução	1
--------------	---

I.1 Objetivos	4
---------------	---

Capítulo II

II Revisão da Literatura	5
--------------------------	---

II.1 Simulação computacional em retrospectiva	5
---	---

Capítulo III

III Fundamentos Teóricos	10
--------------------------	----

III.1 Simulação: Definição	10
----------------------------	----

III.2 Simulação Computacional	11
-------------------------------	----

III.3 Tipos de modelos de simulação	12
-------------------------------------	----

III.3.1 Simulação de sistemas estáticos ou dinâmicos	13
--	----

III.3.2 Simulação de sistemas lineares e não-lineares	14
---	----

III.3.3 Simulação de sistemas determinísticos e estocásticos	14
--	----

III.3.4 Simulação de sistemas discretos e contínuos	14
---	----

III.4 Métodos de condução de projetos de simulação	17
--	----

III.4.1 Formulação do problema e planejamento do estudo	17
---	----

III.4.2 Coleta de dados e definição do modelo	18
---	----

III.4.3 Validação	21
-------------------	----

III.4.4 Construção do modelo computacional	21
--	----

III.4.5 Execução da prova piloto e sua verificação	23
III.4.6 Validação da prova piloto	23
III.4.7 Desenho dos experimentos	25
III.4.8 Execução dos experimentos	26
III.4.9 Análise de dados de saída	26
III.4.10 Documentação e implementação dos resultados	27
Capítulo IV	
IV Materiais e Métodos	28
IV.1 Descrição da Unidade de saúde analisada	28
IV.2 Descrição do fluxo do paciente	29
IV.3 Modelagem	30
IV.3.1 Modelagem conceitual	31
IV.3.2 Os dados	32
IV.3.3 Construção do modelo	33
IV.3.4 Estratégias de simulação	34
Capítulo V	
V Resultados	37
Capítulo VI	
VI Discussão	56
Capítulo VII	
VII Conclusão	63
Referências Bibliográficas	65

Apêndice 1.- Entrevistas com o Profissional	72
Apêndice 2.- Coleta de dados	75
Apêndice 3.- Coleta de dados	76

Índice de Figuras

Figura III.1: Classificação de modelos de simulação, (Oliveira, 2003).	13
Figura III.2: Passos do estudo de simulação (LAW e KELTON, 1991).	17
Figura IV.1: Modelo da clínica e fluxo do paciente.	30
Figura IV.2: Modelo conceitual da clínica.	31
Figura V.1: Porcentagem de fluxo de pacientes em cada turno.	38
Figura V.2 : Variação na demanda de pacientes.	40
Figura V.3 : Desempenho do sistema em relação ao aumento de pacientes.	40
Figura V.4: Variação do agendamento de pacientes.	42
Figura V.5: Variação do número de recursos.	44
Figura V.6: Variação do número de estagiários.	47
Figura V.7: Redução no tempo de espera pelo serviço.	48
Figura V.8: Variação do número de estagiários e agendamento.	49
Figura V.9: Variação na capacidade das salas.	50
Figura V.10: Tempo de espera na variação da capacidade das salas.	51
Figura V.11 : Variação no perfil de atendimento.	54
Figura V.12: Atendimento de pacientes em um dia de simulação.	55

Lista de símbolos e abreviaturas

α	(nível de significância)
h	(precisão do intervalo)
h^*	(precisão desejada do intervalo)
θ_1	(intervalo inferior)
θ_2	(intervalo Superior)
s	(desvio padrão da amostra)
S_d	(desvio padrão da diferença)
\bar{x}	(média da amostra)
X^2	(teste Qui-quadrado)
A-P	(salas de Acupuntura e Pilates)
SE	(setor de emergência)
H_0	(hipótese nula)
H_a	(hipótese alternativa)
ts	(teste t-Student)
ACD	(<i>Activity Cycle Diagram</i>)
IC	(intervalo de confiança)
min	(minutos)
N-CR-RPG	(salas de Neuroterapia, Cardioterapia e Reeducação Postural Global)
PN	(<i>Process Networks</i>)
p-v	(<i>valor p</i>)
SPN	(<i>Simple Process Networks</i>)
T	(salas de Mecanoterapia, Eletroterapia e Cinesioterapia)
VDU	(<i>Visual Display Units</i>)

Capítulo I

I Introdução

A obtenção de uma distribuição de recursos que otimize os insumos existentes deve ser sempre considerada como um objetivo no gerenciamento no setor Saúde, garantindo uma maior equidade do serviço para a população. Assim, atualmente, uma problemática enfrentada por gestores de Saúde, quer seja de órgãos públicos, quer seja de instituições privadas, é: “como otimizar a gestão dos recursos de forma a fornecer uma maior cobertura e acesso aos serviços de Saúde?”. É claro que o mau planejamento pode causar uma diminuição da qualidade do serviço e o aumento das filas de espera, prejudicando a demanda da população por atendimento de alta qualidade (BITTAR e NOGUEIRA, 1996). Estes problemas requerem o desenvolvimento de ferramentas para a análise de estruturas organizacionais complexas, devido ao tipo de serviços prestados.

Além disto, os serviços de Saúde da América Latina enfrentam a pressão de uma crescente demanda populacional, freqüentemente aproximando-se do limite da capacidade das infra-estruturas disponíveis (GARCIA *et al.*, 2003). Para atender a essa demanda, são necessários um adequado planejamento e uma programação que leve em conta variáveis fundamentais, como o número de pacientes esperados, a quantidade de recursos existentes, os tipos de procedimentos realizados e os seus tempos de atendimento (AHARONSON, FUNG e HEDLEY, 1996). A distribuição e gestão de recursos, sua capacidade e produtividade estão diretamente relacionados à qualidade do atendimento, e, portanto, para se reorganizar um setor de uma instituição de Saúde necessita-se do conhecimento detalhado do sistema, seus departamentos, processos, procedimentos, recursos físicos e humanos, características, comportamento, interações e fluxo de informação. Assim, torna-se possível uma tomada de decisões mais embasada na realidade, e cada um destes fatores, se coerentemente analisado, fornece informações

valerosas para serviços em clínicas, hospitais e instituições de Saúde em geral, independente de serem públicas ou privadas, apoiando a tomada racional de decisões.

Um processo de otimização de recursos e de verificação dos efeitos de mudanças sem o uso de ferramentas de simulação dificilmente atingiria seus objetivos na primeira implementação, levando a maiores custos e tempo de intervenção. A Simulação Computacional é uma técnica utilizada para lidar com esta questão, permitindo modelar o sistema real por meio de estratégias que permitem obter a configuração de recursos que fornece maior efetividade, beneficiando diretamente à gestão, com vantagens de custo, tempo e tomada racional de decisões, assim, como ao próprio paciente. Técnicas de Engenharia de Sistemas e Produção na área de sistemas de Saúde permitem testar computacionalmente as possíveis alternativas de um modelo, diminuindo o risco e o custo do processo de mudança.

Portanto, um modelo de simulação pode ser usado para obter respostas que, geralmente, demandariam um custo excessivo ou se tornariam inviáveis sem esses recursos. Eles são usados para aquisição de conhecimento e avaliação de alternativas de funcionamento, respondendo a perguntas como “o que ocorreria se...?” (se fosse alterado o funcionamento do sistema em termos de suas variáveis de entrada e recursos humanos ou físicos). A simulação computacional tem sido usada em muitos países para obter indicadores hospitalares e de gestão, como, por exemplo, fluxo de pacientes, tempo de internação, tempo de espera, capacidade, produtividade ou número de pacientes atendido. Por exemplo, ela já foi usada com sucesso no planejamento de centros cirúrgicos, de departamentos de Radiologia (GLICK, BLACKMORE e ZELMAN, 2000) e emergência e na análise de fluxo de pacientes (CONNELY e BAIR, 2004), fornecendo informações logísticas importantes para tornar mais eficientes os sistemas de uma clínica, aumentando sua produtividade. MIRO *et al* (2003), mostrou

como a análise de variáveis como taxa de chegada de pacientes, tempos de espera, atendimento, capacidade das salas e equipamentos, número das equipes médicas, trajetos dos pacientes e clínicos no departamento de emergência de um Hospital em Barcelona, Espanha, permitiu a definição de uma nova distribuição de recursos, diminuindo o número de pacientes em espera e melhorando seu fluxo. Outro trabalho recente de interesse mostra como o planejamento e gestão de procedimentos em uma clínica de ortopedia influencia decisões da alta de pacientes (PI-CHU LIN *et al.*, 2005). O trabalho objetivava estabelecer um programa de altas de pacientes com “gestão de casos”, levantando a satisfação dos pacientes com os serviços. Assim, para dar alta a um paciente, um modelo de gestão foi elaborado e implementado, definindo recursos, serviços de coordenação, critérios de fluxo e organização de procedimentos para cada caso clínico, com seguimento por telefone. Segundo os autores “o uso dos computadores e de um método de acompanhamento permitiu monitorar o cuidado do paciente na readmissão e na emergência, de modo que o gerente do caso tivesse uma compreensão clara da condição do paciente após sua alta”. Esse programa piloto, no centro médico de Taipei, mostrou a importância do gerenciamento do caso clínico para melhorar a eficácia do planejamento de alta.

O presente trabalho visa a desenvolver uma abordagem para inserir esta técnica de simulação para a análise do funcionamento de uma Clínica de Fisioterapia do Rio de Janeiro, Brasil.

I.1 Objetivos

A proposta deste trabalho consiste na construção e análise de um modelo por eventos discretos de uma clínica de Fisioterapia da cidade do Rio de Janeiro, utilizando como ferramenta de simulação o *software* Medmodel®.

Geral:

- Simular computacionalmente a rotina de funcionamento (número de consultas, de equipes médicas, fluxo e capacidade dos recursos) de uma clínica de Fisioterapia do município do Rio de Janeiro, vinculada a uma universidade particular, em termos de otimização da oferta desses serviços.

Específicos

- Descrever o modelo da clínica de fisioterapia, fluxo dos pacientes, tempos e número de atendimentos, recursos humanos e suas inter-relações, capacidade e equipamentos.
- Simular o sistema de atendimento, aproximando a realidade por meio de métodos estatísticos, analisando o comportamento das variáveis estudadas e sua distribuição.
- Estudar configurações alternativas que permitam uma maior otimização dos recursos de pessoal e equipamento, tempos de atendimento e capacidades.
- Apresentar para a direção da clínica uma proposta com a melhor configuração obtida do modelo computacional e obter o impacto da implementação, por meio de comparação entre estratégias, antes e após a intervenção.

Capítulo II

II Revisão da Literatura

II.1 Simulação computacional em retrospectiva

Em um dos primeiros trabalhos em simulação para sistemas de Saúde, SHIMATONIS (1983) descreve organizações médicas como sistemas complexos de natureza estocástica, onde o fluxo de entrada de pacientes e a probabilidade associada às características de doenças dificultam o uso de soluções analíticas comuns. No seu trabalho no instituto de fisiologia cardiovascular e pesquisa de doenças, no *Kaunas Medical Institute*, Lituânia, o autor modelou 15 setores, as suas rotas de fluxo e os seus serviços, monitorando o comportamento do sistema e a distribuição de trabalho. Seu trabalho simulou a entrada e o fluxo de pacientes, a distribuição de chegada de acordo com o tipo de doença, o critério de atendimento de pacientes e o seu tempo de espera. O *software* VDU (*Visual Display Units*) foi usado para programar as unidades (pacientes e recursos), capturar a informação, estimar as médias dos indicadores de desempenho e visualizar as respostas. O autor concluiu que a simulação pode ser usada na representação de sistemas de Saúde para a avaliação de desempenho e otimização da operação de processos e atenção ao paciente (SHIMATONIS, 1983).

A simulação de sistemas por eventos discretos é uma ferramenta relativamente nova, tanto que, no inverno de 1992, ainda se discutia a direção da pesquisa nesta área para a década de 90. Os principais tópicos debatidos referiam-se à integração da modelagem, simulação e engenharia de *software*, definição de modelos, concorrência de eventos, avaliação do estado do sistema, linguagens de programação e visualização do comportamento de objetos, representação temporal dos eventos e aplicações (FISHWICK *et al.*, 1992). Ainda na fase de definição das características principais da técnica, um trabalho apresentado por PALLIN e KITTELL (1992) usou simulação para

a modelagem do setor de emergência de um hospital. O objetivo desse trabalho foi estudar o tempo de permanência do paciente no setor em função do tempo de espera pelo recurso “profissional” (médico) e o tempo de atendimento usando esse recurso. O problema era como atender mais pacientes aproveitando eficientemente os recursos. Foi construído um modelo de consulta que incluiu o número de pacientes e recursos utilizados, número de enfermeiras, de médicos, de leitos, sala de espera, o tempo no sistema e o tempo de espera do paciente pelos recursos. Os resultados mostraram que o nível de cuidado do paciente não se deterioraria se a equipe de funcionários e os recursos estivessem disponíveis para outras funções, e mostrou ainda que se poderia reduzir a equipe em 50% sem prejuízo no atendimento. Os autores concluíram que a técnica é efetiva para tomada de decisões relativas ao fluxo do paciente e o atendimento no departamento se o modelo tiver uma codificação detalhada, e permitir o teste de alternativas, analisando-as com passos críticos e uma metodologia bem definida (PALLIN e KITTELL , 1992).

Em 1996, na escola de medicina da universidade de Istambul, foi feito um estudo de simulação que objetivou o planejamento de sua capacidade (número de leitos), a realocação de recursos e o fluxo de pacientes no setor de emergência cirúrgica. Aplicando a técnica de eventos discretos, os analistas modelaram a chegada de pacientes classificando-os segundo a natureza do trauma, e definiu-se a sua distribuição de chegada e seu fluxo hospitalar. Para o tempo de uso dos leitos, distribuições de probabilidade foram definidas segundo a classificação do paciente (cuidado intensivo, semi-intensivo, regular). Para a proporção de uso de leitos, distribuições de probabilidade foram definidas segundo a classificação de trauma (casos vasculares, agudos do tórax, queda, acidente de tráfego, arma de fogo, arma branca, queimaduras) e o tipo de procedimento (preservação, cirurgia, reanimação). Nas alternativas avaliadas

procurou-se entender melhor o comportamento do setor, avaliou-se a mudança e realocação de recurso e leitos e testaram-se situações de “gargalo”. O método foi útil para avaliar situações de expansão e na modificação da capacidade para melhorar o desempenho do sistema (KUBAN e ESRA, 1996).

De forma semelhante, GROOTHUIS *et al* (2001), mostra o uso de simulação para o planejamento da capacidade de setor de cateterismo em um hospital (Maastricht Hospital, Holanda), descrevendo como, por meio de simulação de eventos, foi possível construir um modelo de seu setor de Cardiologia. Este modelo representou o fluxo do paciente da seguinte forma: após a avaliação médica, o paciente pode ser enviado para a sala de suporte cardíaco, onde um cardiologista decide se ele vai para a unidade de cuidado coronariano (se houvesse leitos disponíveis), para a sala observação, ou ainda para o quarto de cateterismo (se o paciente precisasse de atenção imediata). Um paciente sem reclamações ou exames pendentes recebia alta. Pedidos de clínicos, técnicos e enfermeiros para a preparação de pacientes, o número destes recursos em cada sala e a velocidade de deslocamento de pacientes e clínicos também foram simuladas. Por meio de várias estratégias de configuração de recursos, foi obtida, segundo os autores, informação importante para otimizar o uso do quarto de cateterismo. Por exemplo, foram sugeridas alternativas de programação do agendamento, mudança no procedimento de preparação do paciente e habilitação de um outro quarto de cateterismo.

Segundo ASPIN apud CONNELLY e BAIR (2004), são necessárias uma escolha e uma estimativa cuidadosa das variáveis de entrada, processo e saída de um sistema para a obtenção de uma base sólida para a análise quantitativa do fluxo de pacientes em um setor de emergência (SE), por exemplo em relação aos tempos da espera e tratamento. As aplicações de simulação podem tornar explícitas as causas e as

conseqüências de uma superlotação, permitindo aumentar a eficiência do SE e avaliar cenários de resposta. No estudo feito por Connely, no Centro Médico Davis da Universidade de Califórnia, o método para analisar esses processos foi a simulação computacional detalhada do fluxo de pacientes no SE. O modelo teve dificuldades para representar os tempos de tratamento do sistema real, dada a sua complexidade, e a capacidade preditiva do modelo foi melhor em relação aos tempos médios de internação dos pacientes. No entanto, quando a predição de internação específica de um paciente foi feita, o modelo não se aproximou satisfatoriamente das respostas do sistema real (CONNELY e BAIR, 2004).

Existem poucos trabalhos em simulação aplicada a unidades de saúde no Brasil. Um dos primeiros trabalhos descrito na literatura que objetivou reduzir os tempos de espera do paciente foi no hospital Albert Einstein, São Paulo (FUSCO, 1997). O modelo foi desenvolvido no programa Medmodel®, procurando respostas para os problemas do serviço, como a demora de entrega de laudos e exames a pacientes. Para isso, foi realizada a modelagem da capacidade de atendimento de cada setor, levando em conta os tempos de espera, os pontos de estrangulamento para o fluxo dos serviços e a utilização efetiva de cada sala da unidade. No entanto, a implementação do modelo não foi descrita em detalhes pelos autores.

O interesse desses modelos na gestão de processos no setor hospitalar levou a outro estudo, desenvolvido em onze hospitais na cidade de Porto Alegre, com o objetivo de avaliar alternativas de prestação de serviços para cada hospital. A técnica de simulação computacional por eventos discretos permitiu a obtenção de uma configuração ótima de recursos em cada caso, e, assim, um novo serviço alternativo de pronto-atendimento foi implementado, permitindo resolver problemas de fluxo de pacientes no setor. Segundo os autores, o modelo permitiu que alternativas para o

serviço de pronto-atendimento e incidências no sistema pudessem ser previamente avaliadas (DE BORDA, 1998).

Embora a computação gráfica e a realidade virtual não sejam alvos de estudo nesta dissertação, dois trabalhos feitos por GABCAN *et al.* (2002), usaram a simulação por eventos discretos para representar em imagens de três dimensões o fluxo do atendimento e a construção de locações do instituto de doenças do tórax, Hospital Universitário Clementino Fraga Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Os estudos permitiram a sugestão de melhorias no procedimento operacional e no controle lógico do sistema, por exemplo, entrada e saída diferenciadas, alocação de um administrativo na entrada para controlar o fluxo de pacientes, disposição de banheiros e bebedouro e possibilitaram ainda o treinamento logístico do pessoal.

Visando à análise e otimização da produção em setores hospitalares, estudos recentes também propõem a utilização de estratégias de simulação por eventos discretos para a programação de manutenção de equipamentos e para fluxos de atendimento e produção em centros cirúrgicos. Segundo FERREIRA *et al* (2004) e FERREIRA (2005), a técnica foi capaz de discriminar entre as estratégias para achar um máximo teórico de cirurgias, permitindo a escolha da configuração de centro cirúrgico com melhor desempenho e de maior interesse para a direção do hospital estudado. Este estudo não apresentou evidencia da implementação dos resultados da simulação no setor, porem mostrou como a técnica pode apoiar a sua gestão. COELLI *et al* (2004), concluiu que a metodologia é útil para o gerenciamento e escolha de estratégias de manutenção de equipamentos de mamografia, podendo também se estender a outros equipamentos, o estudo efetuado não apresentou aplicação dos resultados em um sistema semelhante. Estes estudos também foram desenvolvidos com o “pacote” *Medmodel*® para simulação.

Capítulo III

III Fundamentos Teóricos

III.1 Simulação: Definição

A origem e uso da palavra *simulação* encontra-se no trabalho de VON NEUMANN e ULAM em 1940, quando associaram a expressão “Análise de Monte Carlo” a uma técnica matemática que utilizaram para solucionar problemas de reatores nucleares, que não seriam viáveis de análise experimental ou analítica. O método foi utilizado para a resolução de problemas matemáticos não probabilísticos, permitindo uma simulação de operações por meio de distribuições de probabilidade que satisfizessem às relações matemáticas do sistema. Na década de 1950, tornou-se mais fácil a realização de experiências com modelos matemáticos, aproveitando-se o avanço dos computadores. Assim, a simulação ganhou o significado de “técnica que consiste em realizar um modelo da situação real e nele levar a cabo experiências” (NAYLOR, 1971).

SHIMIZU (1975), Definiu a palavra *simulação* como “o processo de imitar uma realidade através de modelos, tais modelos podem conservar ou não as características físicas e lógicas do sistema imitado”. A representação de um sistema real por outro mais simples procura obter respostas aplicáveis ao primeiro por meio de modelos físicos ou simbólicos.

O termo “simulação”, segundo sua aplicação, pode ser classificado em duas categorias: a *simulação simbólica*, usando um computador, e a *simulação física*. A primeira utiliza símbolos matemáticos e conceituais e precisa de um computador para representar um sistema, mantendo suas características lógicas. A segunda utiliza modelos que mantêm as características físicas em menor escala. Esta dissertação concentra-se na simulação simbólica em computadores, ou *simulação computacional* (SHIMIZU, 1975).

III.2 Simulação Computacional

A *simulação computacional* é definida como uma ferramenta que permite representar o comportamento de um sistema real, apoiando a tomada de decisões, usando como ferramenta um computador. A Simulação Computacional é um processo que inclui experimentos em um modelo desenvolvido e programado no computador para diferentes configurações nas variáveis de entrada, buscando avaliar o que aconteceria se determinada ação fosse tomada (PIDD, 1992).

Em simulação, é importante definir os conceitos de *sistema*, *componentes*, *modelo* e *métodos*, que facilitam o entendimento da teoria. O *sistema* pode ser definido como um conjunto de elementos relacionados que compreendem uma organização. Os *componentes* podem ser subsistemas, e contém uma estrutura particular e uma atividade específica, conectados a fim de facilitar o fluxo e processamento de informação. Para representar seu funcionamento, um modelo matemático pode ser construído. Um *modelo* é uma abstração da realidade, aproximando-se do verdadeiro comportamento do sistema. A intenção dos modelos é capturar o que é realmente importante: eles são mais simples do que o sistema real e geralmente representam as características sem considerar detalhes julgados menos importantes. Existem várias classes de modelos, conforme a sua representação. Modelos simbólicos, compostos por diagramas e gráficos que representam o sistema de maneira estática, são utilizados na documentação de projetos e como ferramenta de comunicação. Modelos físicos constituem-se em modelos em escala (ex. maquetes, esculturas, mapas). Modelos Matemáticos expressam o sistema e suas variáveis com símbolos, relações lógicas e um conjunto de fórmulas matemáticas, que podem ser modificadas para observar o comportamento interno e prever suas saídas (KRZANOWSKI, 1998).

Os modelos matemáticos podem ser divididos em *analíticos* ou *de simulação*. Nos analíticos, o método de obtenção dos resultados é formado por equações matemáticas, que fornecem o comportamento do sistema atribuindo valores aos parâmetros e às equações (ex. programação linear), na sua maioria de natureza estática. Os modelos de simulação são compostos por relações lógicas e matemáticas, que pretendem reproduzir a realidade em um instante ou ao longo do tempo, (PIDD, 1997).

Na modelagem de sistemas reais, a sua natureza dinâmica implica em uma maior complexidade de representação. Esses sistemas incluem variáveis aleatórias, respostas e comportamentos variando ao longo do tempo. Esta natureza aleatória consegue ser representada com mais fidelidade por modelos de simulação, que usam o computador para reproduzir o mesmo comportamento sob as mesmas condições de contorno.

O Método de Monte Carlo originou o que hoje se conhece como simulação probabilística ou estocástica. Este método é útil para problemas complexos, que seriam de difícil abordagem determinística. Este é uma técnica que simula distribuições de probabilidade conhecidas ou empíricas, fornecendo também soluções onde relações de distribuições de densidade aproximam respostas a problemas determinísticos, nos quais o tempo não é uma variável importante ou que modifique o sistema.

III.3 Tipos de modelos de simulação

A Figura III.1 mostra uma divisão dos modelos de simulação, descritos por vários autores (PIDD, 1997; KHOSHNEVIS, 1994; LAW e KELTON, 1991). Eles estão divididos segundo as variáveis que modificam o seu comportamento e as suas propriedades.

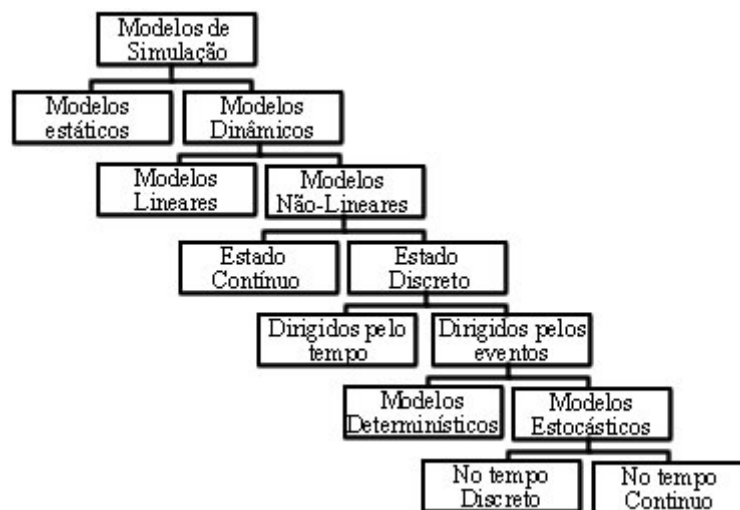


Figura III.1: Classificação modelos de simulação, (OLIVEIRA e MOCCELLIN, 2003).

III.3.1 Simulação de sistemas estáticos ou dinâmicos

Os modelos estáticos representam o sistema em um ponto particular no tempo, ou ainda um sistema em que o tempo não é uma variável que modifique o comportamento, como tirar uma fotografia do sistema e observar seu estado (por exemplo, maquetes e modelos de escala). Por outro lado, os modelos dinâmicos representam sistemas que evoluem no tempo: suas respostas podem-se dar em função deste ou ao longo deste (por exemplo, um circuito elétrico, os indicadores econômicos, o tráfego de uma cidade). Segundo SCHEINERMAN (1996), um sistema dinâmico pode ser representado por várias características, descrevendo o estado de um sistema real ou hipotético por uma função matemática ou lógica que diga, dado o estado atual, qual será o estado no seguinte instante do tempo. A outra característica desses sistemas é a forma de como o sistema muda ao longo do tempo, que pode ser discreta ou contínua. No caso de sistemas de informação, sua dinâmica de fluxo pode ser descrita como: dados de entrada são processados em um tempo determinado ou estocástico e a sua saída é avaliada, gerando informação que pode realimentar entradas ou gerar estados de resposta (EDDINS et al., 1991).

III.3.2 Simulação de sistemas lineares e não-lineares

Os modelos de simulação que representam sistemas lineares fornecem respostas lineares às variáveis de entrada (por exemplo, a programação linear na área de produção). Em sistemas não lineares, as entradas não modificam diretamente as respostas dinâmicas do mesmo, mas dependem da sua intensidade, por exemplo, o sistema pulmonar, sistemas de controle entre outros.

III.3.3 Simulação de sistemas determinísticos e estocásticos

A simulação de sistemas determinísticos apresenta variáveis em que entradas são não-aleatórias. Elas podem ser representadas por modelos matemáticos que têm um conjunto conhecido de entradas que fornecem um conjunto único de saídas esperadas. Assim, conhecendo-se o estado atual do sistema e de suas variáveis de contorno, pode-se prever seu estado seguinte. Existem sistemas não necessariamente determinísticos que podem ter soluções determinísticas (por exemplo, na localização de fugas de água em sistemas de abastecimento (GUMIER, 2005)). Sistemas estocásticos são caracterizados por entradas aleatórias, que devem ser aproximadas por modelos probabilísticos. Estes modelos usam distribuições conhecidas, que explicam o comportamento das variáveis e parâmetros que afetam seu comportamento, estimando as respostas, por exemplo, por meio de intervalos de confiança. Os modelos estocásticos incluem uma aproximação empírica da aleatoriedade dos dados e o estudo da incerteza das condições de contorno do sistema. Um exemplo deste tipo de simulação é a modelagem para o estudo de crescimento de populações (LOIBEL, 2004).

III.3.4 Simulação de sistemas discretos e contínuos

A classificação destes modelos baseia-se em sua variação ao longo do tempo. Os modelos que representam sistemas discretos usam variáveis por eventos discretos no

tempo, podendo ser determinísticos e estocásticos. O conceito de “tempo discreto” refere-se a instantes do tempo ou períodos nos quais o estado do sistema muda. Por exemplo, o registro de entrada de pacientes no setor de um hospital acontece em um intervalo de tempo, que pode definir uma distribuição de probabilidade. Outro exemplo é o horário de partida de um metrô: a hora de partida marcada (tempo discreto), pode variar condicionadamente ao evento anterior (saída atrasada do carro anterior). Para sistemas contínuos, os modelos simulam respostas, modificando variáveis continuamente ao longo do tempo, e a mudança na resposta não se aplica para instantes ou intervalos de tempo e sim para ao longo do tempo. Por exemplo, seja uma bola jogada em linha reta para cima: pode não fazer sentido perguntar qual será seu estado no seguinte instante de tempo, e, sim, descrever como o sistema está mudando seu estado continuamente (SCHEINERMAN, 1996).

III.3.5 Simulação de sistemas dinâmicos por eventos discretos

Estes sistemas geram suas respostas dependendo de acontecimentos (eventos) que geram mudanças nos estados dos componentes do sistema. Para FISHMAN (2001), a simulação por eventos discretos consiste em um conjunto de técnicas que, aplicadas à sistemas dinâmicos, gera fluxos de informação que descrevem corretamente seu comportamento. A técnica exige um modelo conceitual que consiga abstrair as características essenciais e relevantes do sistema, usando um conjunto de procedimentos lógicos e matemáticos que relacionem seus elementos; um programa de computador especializado, que permita converter essas relações em um código executável e simule o fluxo de dados; procedimentos que transformem esses dados em estimativas de desempenho do sistema e métodos para avaliar quanto estas estimativas aproximam-se do real, mas desconhecido, comportamento do sistema.

De modo geral, um modelo de eventos discretos exige da definição e identificação no sistema dos seguintes conceitos: *entidades*, *recursos*, *fluxo*, *capacidade*, *programação*, *disponibilidade* e *desempenho*.

As *Entidades* referem-se a qualquer tipo de cliente que precisa de recursos e interage no sistema. Os *Recursos* incluem equipamentos, insumos, fornecedores, pessoal e salas que possam fornecer o serviço ao cliente. O *fluxo* mostra como os serviços são requeridos, que recursos participam dele e a ordem em que eles podem ser fornecidos. A *capacidade* é a quantidade de serviços que um recurso pode prover, a *programação* e a *disponibilidade* definem como e quando o recurso está habilitado para trabalhar ou prestar o serviço e o desempenho mostra, por meio de indicadores, a quantidade e qualidade do serviço (FISHMAN, 2001).

Na simulação de eventos discretos, outros termos usados para descrever e analisar características dos sistemas são: *Atributo*: descreve as propriedades das entidades e recursos, por exemplo, os estados *disponível*, *ocupado*, *bloqueado* ou *em espera*. *Lista de variáveis*: pode ser um conjunto de registros que contem as relações entre as entidades e os atributos, por exemplo, os tempos de chegada de clientes para solicitar um serviço. *Evento* indica a mudança no estado do sistema. *Propriedade do evento* indica quando o evento pode ser executado. *Processo* indica como os eventos podem ser executados no tempo. *Tempo de rotina*, marca o avanço da simulação, indicando o evento seguinte na lista de processos. *Atividade* indica dois eventos, um que inicia e outro que completa a operação que transforma o estado da entidade, e ajuda a determinar o tempo de atividade das entidades e recursos no sistema.

Outro tópico importante é como criar interfaces de projetos de simulação (ODHABI et al., 1998), e que programa de computador utilizar. Na secção III.4 descrevem-se algumas das escolhas possíveis.

III.4 Métodos de condução de projetos de simulação

Os passos para a construção de modelos de simulação de eventos discretos foram relatados de forma similar por GORDON (1969) e LAW e KELTON (1991). Nesta proposta, serão descritos os passos sugeridos por LAW e KELTON (1991) na elaboração de um projeto de simulação, por expor de forma completa o fluxo do estudo (Figura III.2) e se adequar aos objetivos e interesses deste projeto.

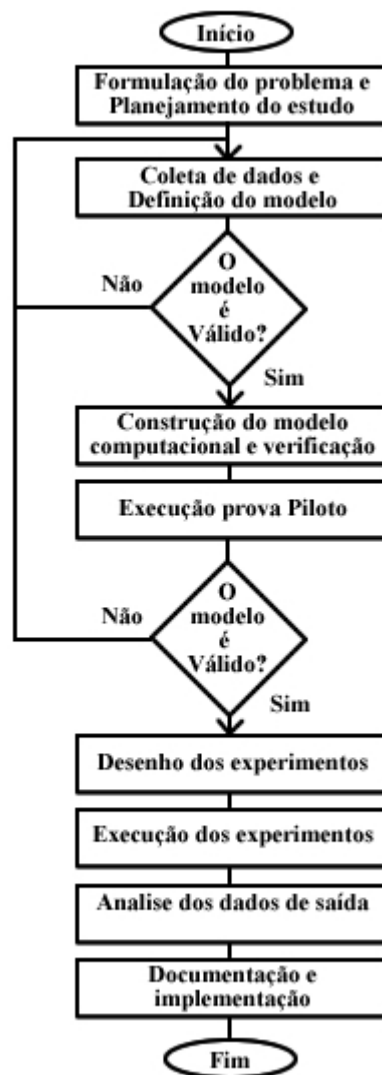


Figura III.2: Passos do estudo de simulação (LAW e KELTON, 1991)

III.4.1 Formulação do problema e planejamento do estudo

Nesta fase determinam-se os objetivos do projeto, seus critérios de avaliação de eficácia, seus recursos e custos envolvidos. O analista deve entender o sistema e apoiar-

se em especialistas que trabalham diretamente nele. Mediante discussão, definem-se as hipóteses e o nível de detalhamento do modelo a simular. Define-se um cronograma de trabalho e responsáveis.

III.4.2 Coleta de dados e definição do modelo

Nesta fase pretende-se coletar informação das variáveis do sistema, suas características (entrada, processo, saída) e distribuições de probabilidade para variáveis randômicas.

Na coleta de dados, se planeja o processo de amostragem de uma quantidade que represente a população no estudo estatístico. O objetivo é que a amostra represente o fenômeno em estudo. A coleta de dados deve ser feita em diferentes horários e dias para detectar se os dados mudam em função do horário de funcionamento do sistema (VINCENT, 1998).

Aí devem ser escolhidas as variáveis de entrada do sistema (parâmetros que são fornecidos ao modelo de simulação) e as variáveis de saída (valores que são obtidos do modelo de simulação). Quando se define uma população a estudar, deve-se saber quais os valores possíveis que essa possa assumir.

Na análise exploratória de dados, técnicas estatísticas permitem descrever valores de localização (média, mínimo, máximo) e dispersão (desvio-padrão, variância) das variáveis. Neste sentido podem ser identificadas possíveis falhas nos valores amostrados, *outliers* (valores não usuais) ou correlação (dependência) entre os dados da amostra, e, assim, aumentar o nosso conhecimento acerca do sistema.

A partir da análise exploratória, inferências podem ser geradas sobre a população. Obtida e explorada a amostra, identificam-se distribuições de probabilidade para explicar o comportamento aleatório das variáveis, analisa-se a consistência dos dados e aplicam-se testes de aderência, para ajustá-los a uma distribuição empírica.

No teste de aderência define-se uma hipótese, e testa-se a validade ou não desta. A hipótese é chamada *H₀* (Hipótese nula): o modelo é adequado para representar a distribuição da população; e a hipótese alternativa é *H_a*: o modelo não é adequado para representar a distribuição da população.





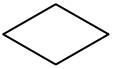

Entre os testes de aderência mais usados estão o teste do *Qui-quadrado* (X^2), que se baseia no cálculo dos desvios entre as frequências acumuladas observadas em classes (intervalos de valores que pode assumir uma variável), definidas para a variável de estudo. O teste de *Anderson Darling* calcula o quadrado da integral da diferença entre os dados de uma amostra e uma distribuição ajustada, ele é apropriado para qualquer tamanho de amostra. O teste de *Kolmogorov-Smirnov* compara a função acumulada do modelo teórico com a função acumulada da probabilidade observada, calculando a distância absoluta máxima entre as duas distribuições acumuladas. Após ajustar distribuições empíricas aos dados coletados, deve-se analisar qual é a melhor das distribuições testadas, por exemplo, usando-se o *valor p* (p-v) ou nível descritivo. Defina-se um *nível de significância* (α) de evidência contra a hipótese de aderência. Se $\text{valor } p \leq \alpha$, então, *H₀* é rejeitada ao nível de significância α . Se $\text{valor } p > \alpha$, então, *H₀* não é rejeitada ao nível de significância α . Quanto menor o *valor p*, mais razões para rejeitar a hipótese de aderência. Assim compara-se entre todas as distribuições testadas com o mesmo nível de significância e escolhe-se a distribuição que tiver o maior *valor p* (WILCOX, 1997, KRZANOWSKI, 2001). Atualmente, estes procedimentos são automaticamente realizados por meio de programas estatísticos.

Para a definição de um modelo, identifica-se o que deve ser considerado realmente importante no sistema e representa-se um modelo conceitual, utilizando-se uma técnica que consiga manter a parcimônia e explicá-lo. Os modelos conceituais podem ser: *Declarativos*: mostram a evolução do sistema estado-a-estado ou evento-a-evento;

Funcionais: representam a direção de fluxo, sinais e funções de transferência em “caixas”; *Espaciais*: usados para representar sistemas com maiores detalhes, por exemplo, peças individuais que compõem a geometria dum fenômeno físico; *Multi-modelos*: usados para sistemas em maior escala, envolvem o uso dos tipos de modelagem conceitual mencionado anteriormente (FISHWICK, 1994).

Na construção do modelo, o analista, inicialmente, desenha a imagem abstrata do sistema. A representação requer a definição de nomenclatura que indique as partes que interagem no sistema, mas não precisam de detalhamento de processos, bastando identificá-los e relacioná-los com outros componentes. Por exemplo, os diagramas de Ciclo de Vida, ACD (*Activity Cycle Diagram*) são uma forma de modelagem que mostra as interações dos objetos no sistema, úteis na análise da geração de filas (RAY, 1993). Já modelos conceituais com a visão de processos denominados de PN (*Process Networks*) usam blocos e relações de fluxo para a representação dos processos, e são comumente usados por linguagens computacionais para simulação (SCHRUBEN, 1992). A Tabela III.1 mostra os diagramas construtores de processos SPN (Simple Process Networks) para representar o fluxo de processos na modelagem conceitual (CHWIF e MEDINA, 2006).

Tabela III.1 Blocos construtores do SPN.

Nome do Bloco	Simbologia
Chegada	
Fila	
Atraso	
Processo com recurso	
Condicional	
Saída	

III.4.3 Validação

É importante avaliar-se os dados coletados e a representação apropriada do modelo em termos dos usuários do sistema. A *validação conceitual* objetiva saber se realmente se está desenvolvendo um modelo que representa corretamente o sistema. Pesquisadores e tomadores de decisão interagem para conseguir uma melhor representação do sistema. Uma forma de validar a informação obtida é olhar para os dados e inferir hipóteses sobre aquelas dúvidas do comportamento das variáveis do modelo, ou seja, confrontar o modelo conceitual com o modelo real.

III.4.4 Construção do modelo computacional

Um programa de computador permite ao pesquisador construir uma representação do sistema e seu comportamento. Em um projeto ou estudo de simulação, um passo importante é a escolha desse programa. Para isto, o analista tem duas opções; linguagens de propósito geral ou linguagens de simulação. A primeira tem como exemplos FORTRAN, C, BASIC e seus correspondentes orientados a objetos que proporcionam recursos de programação mais abrangentes, portanto mais abertos, mas, mais complexos se usados para tarefas específicas como a simulação, exigindo do programador mais tempo para criar funções especiais.

Já as linguagens de simulação GASP IV e SIMULA e os ambientes de programação ARENA e MEDMODEL®, oferecem recursos e ferramentas específicas. Estas conseguem diminuir o tempo de programação e a complexidade do programa. Embora apresentem restrições de detecção de erros e controle do programador, escrever programas e modificá-los é relativamente fácil e rápido, dadas as funções e interface.

A interface gráfica pode economizar tempo na construção, pois permite criar e editar modelos complexos que levariam mais tempo em um ambiente baseado em texto.

Porém, o usuário pode não ter a possibilidade de detalhar e programar ações lógicas que possam ajustar o modelo. O desenvolvimento das linguagens de programação está ligado às relações com o usuário. A interface apropriada depende do objetivo da aplicação: geralmente, um programa de simulação com interface gráfica usa sentenças declarativas, em que usuários criam blocos, permitindo ainda o uso de sentenças imperativas para descrever o fluxo dos processos (BANKS e GIBSON, 1997). A maior capacidade gráfica e computacional permitiu aumentar a representação dinâmica do comportamento de sistemas, incluindo ferramentas da linguagem orientada a objetos.

Segundo CHWIF e MEDINA (2006), algumas das características desejáveis dos simuladores são: Módulo de análise de dados de entrada, que permite ajuste dos dados às distribuições de probabilidade; módulo de análise estatística dos resultados, que gera intervalos de confiança e análise de diferentes experimentos; módulo de otimização, que escolhe a melhor função de desempenho pré-especificada; preço do “software” (deve-se analisar preço contra funcionalidade); tipo de animação, segundo a necessidade de detalhe do sistema; detecção e depuração de erros; integração com outros programas ou editores de texto; funções de distribuições de probabilidade, uma lista de distribuições extensa (discretas e contínuas) para o ajuste dos dados; possibilidade de construção de *templates* (blocos padrão que podem definir entidades, recursos e fluxos); capacidade de modelagem hierárquica (um modelo pode conter vários sub-modelos); modelagem por objetos, que é a construção flexível dum modelo baseado nas propriedades e na herança dos seus objetos.

O desenvolvimento das linguagens de simulação contribuiu para o desenvolvimento de vários aplicativos empregados na tomada de decisões e gerenciamento na Saúde (BALDWINW et al., 1999) e na indústria (OLIVEIRA e MOCCELLIN, 2003).

III.4.5 Execução da prova piloto e sua verificação

Nesta fase, executa-se o modelo gerado computacionalmente com as condições e parâmetros do sistema real. Considera-se na primeira rodada os casos mais usuais ou comuns de acontecerem no sistema, identificam-se possíveis erros de programação ou definição de variáveis, observa-se passo a passo o comportamento das entidades, o fluxo de informação e a execução dos processos e rotinas.

O termo “verificação” é usado para a comparação entre o modelo conceitual e o modelo programado. A verificação refere-se à retirada de erros do modelo computacional, determinando se o modelo foi programado corretamente. Em linguagens de simulação, a verificação pretende determinar se as funções, rotinas e processos para a simulação foram corretamente programados e implementados. Pode-se verificar o modelo mediante um depurador que permite visualizar passo a passo eventos que estão ocorrendo e eventos futuros. Pode-se verificar, com a avaliação das entradas e saídas, as consistências internas, reprogramando processos para avaliar se os mesmos valores críticos foram obtidos, agregando ou diminuindo variáveis ou ainda o número de testes para simulação (SARGENT, 2000).

III.4.6 Validação da prova piloto

Nesta fase, avalia-se se o modelo é semelhante e reproduz uma saída comparável ao sistema real, atingindo os objetivos e interesse do projeto. Em caso contrário, o projeto deve voltar ao passo 2. Nesta etapa, testes estatísticos (*t-student*, X^2 e de proporções) podem ser aplicados para detectar diferenças significantes em relação ao sistema real (KRZANOWSKI, 2001), (TRIOLA, 2005).

Para os testes e provas é importante definir os indicadores de desempenho do sistema, o número de replicações, o período de aquecimento, o período de simulação, os

intervalos de confiança e precisão, para, então, analisar o comportamento do sistema e procurar situações críticas, máximos e mínimos.

Determina-se o IC (intervalo de confiança) 100 (1- α)% para a média da população dos dados de saída do modelo pela equação (WILCOX, 1997):

$$P(\bar{x} - h \leq \mu \leq \bar{x} + h) = 1 - \alpha \quad (\text{III.1})$$

ou:

$$\bar{x} \pm t_{n-1, \alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (\text{III.2})$$

onde:

\bar{x} é a média da amostra;

$h = t_{n-1, \alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$ é a metade do tamanho do intervalo, denominada de precisão;

$t_{n-1, \alpha/2}$ é o (1 - $\alpha/2$) percentil da distribuição t de *Student* com n-1 graus de liberdade;

s é o desvio padrão da amostra;

n é o número de dados da amostra.

Para determinar o número de replicações, defina-se a precisão (metade do intervalo confiança) h^* . Executa-se o modelo com um número arbitrário de replicações, defina-se uma confiança estatística 100 (1- α)% dos resultados se os valores de h são menores ou iguais que h^* . Se h for maior do que h^* , calcula-se número de replicações com a equação:

$$n^* = \left[n \left(\frac{h}{h^*} \right)^2 \right] \quad (\text{III.3})$$

onde:

n é o número arbitrário de replicações e h^* é a precisão desejada.

O período de aquecimento ou *warm-up* é usado em sistemas não terminais, onde não se tem um instante de tempo exato para o término da simulação, e onde o interesse é o regime permanente de funcionamento, e não a condição inicial transiente do começo do sistema.

A validação operacional compara os resultados do modelo simulado com valores do sistema real. Uma análise de sensibilidade ajuda à validação, permitindo verificar se os parâmetros críticos conhecidos de entrada afetam significativamente os resultados do modelo e ainda identificando valores dos parâmetros que influenciam as hipóteses testadas. SARGENT (2000), menciona técnicas de validação aplicáveis para o modelo conceitual e computacional. *Validação por animação* confronta o comportamento dinâmico do sistema, e a validação com outros modelos compara as saídas do modelo com as de modelos existentes já validados.

Outras formas de validação são o *teste de condições críticas*, para avaliar sensibilidade do sistema, a *validação “fase” a “fase”*: intervenção de especialista que conhece o sistema para validar se o comportamento e relações dos componentes do modelo são razoavelmente coerentes e a *validação com Valores fixos*, mantendo-se constantes as entradas para permitir calcular facilmente as saídas do modelo.

As técnicas de validação operacional incluem uma validação gráfica dos dados do sistema real contra o modelo simulado, por meio de diagramas de pontos ou de dispersão, definição de intervalos de confiança e comparação usando teste estatísticos de hipótese.

III.4.7 Desenho dos experimentos

Nesta fase são propostas estratégias e configurações de recursos para a análise do comportamento do sistema. Aqui é importante lembrar qual é o objetivo do modelo.

Geralmente o analista pode criar configurações que avaliem sistematicamente alternativas de funcionamento e conseguir assim uma otimização, por exemplo, diminuindo recursos e executando o modelo, procurando resultados semelhantes com aqueles do sistema real. Um número de experimentos pode ter n variáveis por m alternativas. Uma quantidade grande de combinações pode não permitir analisar ordenadamente os resultados da simulação. Observam-se então os principais indicadores definidos e critérios, como redução de custo, aumento de produtividade ou otimização.

Na atualidade, alguns *softwares* de simulação permitem escolher uma função objetivo (resposta desejada), definir restrições e limites dos parâmetros do modelo e rodar automaticamente a simulação. Ao final, um relatório sumariza as alternativas testadas.

III.4.8 Execução dos experimentos

Nesta fase, realiza-se a execução de experimentos para observar o desempenho das configurações de interesse. Executam-se as alternativas propostas com supervisão do analista, existindo a possibilidade de se coletar dados e guardá-los de forma automática, programando os períodos de simulação e as várias rodadas, mas, na maioria das vezes, o analista guarda manualmente os relatórios gerados pelo *software* para sua análise posterior ou para avaliar as simulações enquanto elas estão “rodando”.

III.4.9 Análise de dados de saída

Nesta fase, técnicas estatísticas são usadas para analisar os dados de saída das estratégias implementadas anteriormente. A comparação entre os grupos de cada alternativa é avaliada com a ajuda de um teste estatístico, para analisar as diferenças entre as alternativas simuladas.

A comparação entre as médias de duas alternativas com tamanho igual de replicações é feita com teste pareado calculando as diferenças entre as médias (BUSSAB e MORETTIN, 2004):

$$d_i = x_{1i} - x_{2i} \quad \text{(III.4)}$$

x_{1i} é observação i da alternativa 1 e x_{2i} é observação i da alternativa 2.

Calcula-se a média \bar{d} e desvio padrão S_d da diferença e construa-se um intervalo de confiança $[\theta_1, \theta_2]$.

θ_1 Intervalo inferior, θ_2 Intervalo Superior.

Se o intervalo de confiança contiver o 0, então nada pode ser concluído sobre a diferença entre as médias das alternativas.

Se o intervalo é maior do que 0, então a média da alternativa 1 é a maior.

Se o intervalo é menor do que 0, então a média da alternativa 2 é a maior.

III.4.10 Documentação e implementação dos resultados

A última etapa visa gerar a documentação que explica como foram feitas as considerações da simulação do sistema, relatando especificações do modelo, reuniões entre analistas e especialistas do sistema, o modelo conceitual, hipóteses e restrições assumidas, modelo de entrada de dados, modelo computacional, verificação e validações realizadas, os cenários avaliados e os resultados computacionais obtidos, apresentações realizadas pela equipe analista e relatório final. Finalmente, seus resultados são implementados no sistema real, esperando respostas similares à simulação (LAW e KELTON, 1991).

Capítulo IV

IV Materiais e Métodos

IV.1 Descrição da Unidade de Saúde analisada

A unidade de Saúde analisada foi uma clínica de Fisioterapia filiada à Universidade Estácio de Sá no município do Rio de Janeiro, RJ, que recebe em média 80 pacientes por dia. Os tipos de tratamento oferecidos são: Acupuntura, Crochetagem (tratamento de drenagem por meio de ganchos), Traumato-ortoterapia, Eletroterapia, Cinesioterapia, Mecanoterapia, Pilates (técnica de “alinhamento corporal”), Neurofisioterapia, Cardioterapia e RPG (Reeducação Postural Global). A clínica possui treze fisioterapeutas e cada um supervisiona de quatro a cinco estagiários. Neste trabalho, fisioterapeutas e estagiários serão chamados de “clínicos” ou “profissionais” quando suas funções forem iguais. A rotina diária divide-se em três turnos, de segunda a sexta-feira, nos horários, 7 - 12h, 12 - 18h, 18 - 22h; e sábados 8 - 13h. No turno da manhã atuam 7 fisioterapeutas e 15 estagiários, no turno da tarde 5 e 15, e, no da noite, respectivamente 4 e 15. Além disto, os serviços de Pilates e Acupuntura possuem um Fisioterapeuta a mais em cada turno. Todos os atendimentos acontecem com hora marcada. Sendo uma clínica escola, além dos estudos de casos, existe também atividade acadêmica orientada para os estagiários (em grupos), de uma hora semanal, em horários variáveis. Um fisioterapeuta supervisiona em média 5 estagiários. Os recursos e tipos de serviço disponíveis não mudam ao longo do ano.

O número de salas ou setores da clínica é 14. Para o modelo, foram definidas, além das salas de atendimento, salas de espera, vestiários e recepção, nos quais pacientes (entidades) e clínicos (recursos) podem permanecer, assim como computadores para registrar a seção fisioterápica (Figura 1). O número dos atendimentos para cada paciente depende do tratamento de fisioterápico traçado. Um *software* próprio da clínica registra

o atendimento e a evolução da terapia, armazenando, por exemplo, os registros de consulta para cardioterapia de um paciente, sua evolução e data do último atendimento.

IV.2 Descrição do fluxo do paciente

A clínica possui uma entrada que permite acesso a pé ou por cadeira de rodas. O paciente chega à recepção, e, de modo geral, novos pacientes se registram na recepção e marcam uma data na agenda para primeira avaliação. Pacientes que chegam para tratamento com agenda marcada são anunciados pelo sistema na recepção, e ficam na sala de espera até serem chamados pelo fisioterapeuta. A Figura IV.1 apresenta uma rede de caminhos e nós mostrando as rotas de fluxo dos pacientes. O quadrado com “x” branco representa os locais onde profissionais e pacientes podem permanecer. O fisioterapeuta pode escolher a rota mais curta para chegar a uma sala de tratamento.

A velocidade média de deslocamento de pacientes foi definida como 1 m/seg, predeterminada pelo *software*. No interior da clínica o paciente sempre está acompanhado de um estagiário ou fisioterapeuta (clínicos). Quando o paciente tem necessidade de usar o vestiário, o clínico ficará liberado. Independentemente do serviço, os clínicos procuram o paciente na sala de espera ao serem avisados da sua chegada, e, na hora da saída, retornam o paciente à sala de espera. Nesse momento o clínico fica liberado, e o paciente pode dirigir-se ao vestiário ou sair imediatamente. A saída é feita pelo mesmo local da entrada.

Por exemplo, um paciente chegando para tratamento de RPG é anunciado pela recepção do sistema, fica na sala de espera e é recebido pelo clínico livre nesse momento. O paciente, então, pode ou não decidir ir ao vestiário, e, a seguir, continua para a sala, onde é tratado. Após o tratamento, clínico e paciente se dirigem para a sala de espera e ali são liberados; o paciente vai para a saída e o clínico para seu setor de

origem. Se o fisioterapeuta estiver fazendo a avaliação de um novo paciente, os seus estagiários podem estar atendendo outros pacientes. Para isso, o *software* da clínica possui a conduta de tratamento que o estagiário pode consultar. Além disso, se surgirem dúvidas, o estagiário pode consultar outros fisioterapeutas disponíveis.

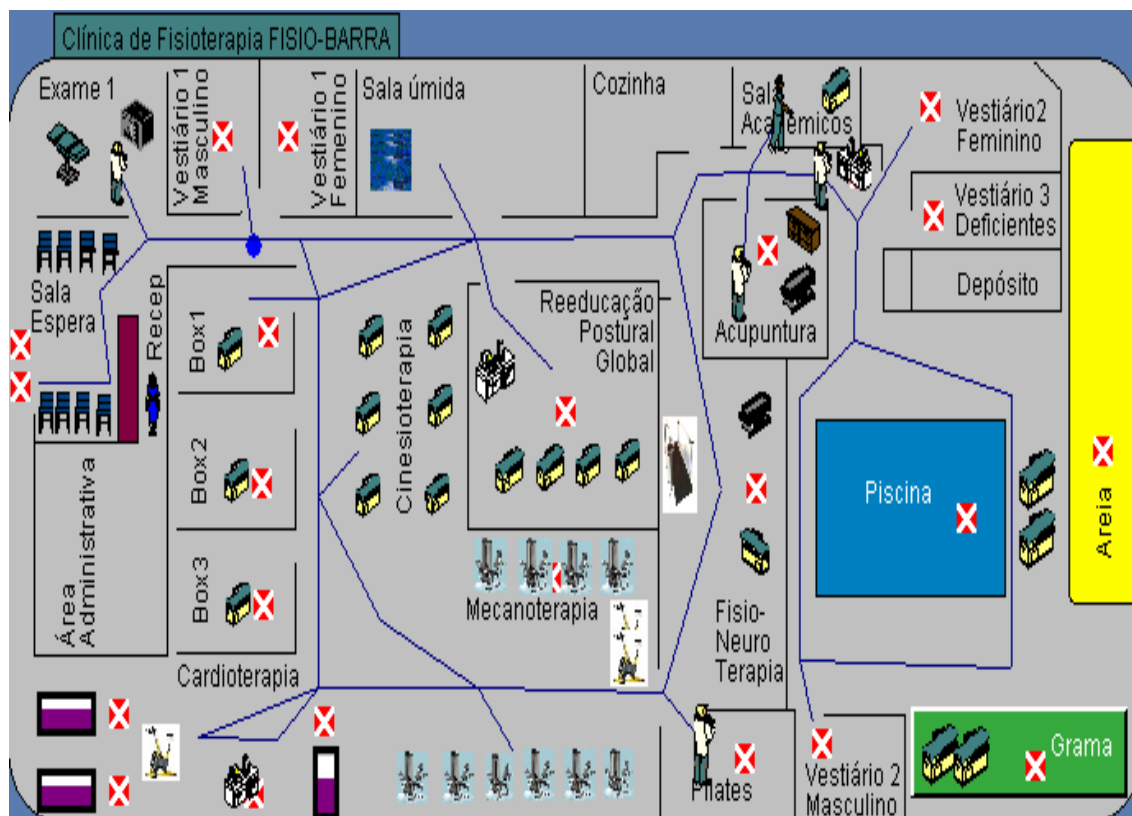


Figura IV.1: Modelo da clínica e fluxo do paciente

IV.3 Modelagem

Do ponto de vista da simulação, a clínica é um sistema dinâmico dirigido por eventos (chegada de pacientes, espera, traslado, atenção ou tratamento) que ocorrem no tempo discreto com uma distribuição de probabilidade (*normal*, *lognormal*, *exponencial*, etc.), dentro das localizações (salas), determinando o estado (ocupado, desocupado, em espera) dos recursos (físicos ou humanos) e entidades (paciente) que realizam processos (rotinas de atenção ou serviço).

IV.3.1 Modelagem conceitual

Para descrever o modelo conceitual da clínica usou-se o modelo de diagramas de bloco SPN (Simple Process Networks), explicado na seção III.4. A Figura IV.2 mostra a chegada de pacientes, fluxo, processos e saída. Se a fila for superior a 8, o paciente toma a decisão de sair do sistema, o símbolo de *atraso* indica os tempos de espera e translados do paciente, e o símbolo de *processos* indica as atividades de serviço de tratamento fisioterápico com o uso de recursos.

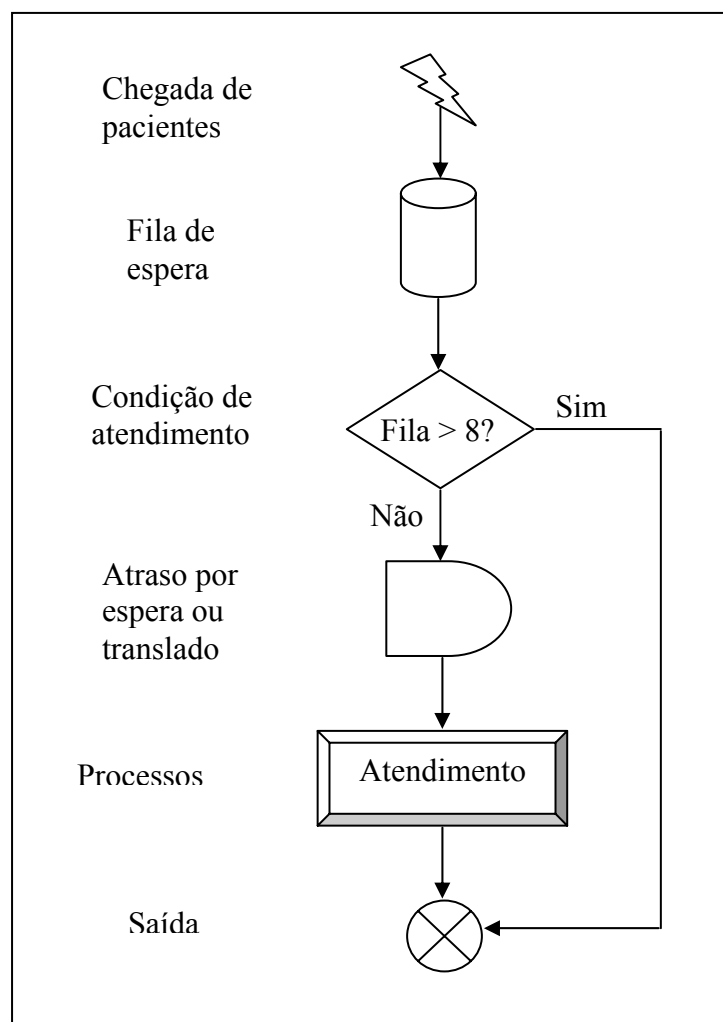


Figura IV.2: Modelo conceitual da clínica

IV.3.2 Os dados

Os procedimentos e rotinas de atendimento ao paciente foram coletados por meio de entrevistas com os profissionais no mês de outubro de 2005 e maio de 2006 utilizando-se os formulários apresentados no apêndice 1. Os profissionais ressaltaram o fato de a clínica estar perto da capacidade máxima de atendimentos.

A coleta de tempos por especialidade e acompanhamento dos atendimentos na clínica deu-se entre março de 2006 e maio de 2006. O tempo de atendimento para um número médio de 50 pacientes de cada especialidade foi obtido da seguinte maneira:

- Preenchimento de planilha de registro de tempos em cada setor ou sala. A planilha encontra-se no apêndice 2.
- O analista de simulação coletou os tempos de entrada e saída dos locais com maior variabilidade no tempo de permanência dos pacientes, por exemplo, sala de cinesioterapia, cardioterapia, mecanoterapia, eletroterapia, piscina e campos, neuroterapia.
- Tempos de outras salas que não possuíam fluxo de pacientes para outros setores foram obtidas do *software* da clínica.
- Os dados preenchidos foram identificação do paciente, serviço oferecido, patologia e destino do paciente depois de sair da sala.

Foram obtidos, pelo *software* administrativo da clínica, os tempos de chegada e permanência dos pacientes, no período de Novembro de 2005 a fevereiro de 2006 e o mês de maio de 2006 e a porcentagem de serviços fisioterápicos (por especialidade) no ano 2005. O procedimento para registrar o tipo de atendimento e a evolução do quadro do paciente é feito pelo fisioterapeuta ou estagiário, e os tempos de entrada/saída do paciente são coletados pelos auxiliares administrativos. A planilha de atendimento

diário apresenta-se no apêndice 3. Os dados foram analisados com o *software* Statfit ®, v2 *student* para identificar suas distribuições, de acordo com cada serviço analisado.

IV.3.3 Construção do modelo

Neste projeto foi escolhido o programa MEDMODEL® 6.0, uma linguagem orientada à simulação em ambientes hospitalares.

Foram seguidos os passos de modelagem e simulação de sistemas discretos descritos na seção III.4. Construiu-se um modelo inicial que permitiu representar o *layout* da clínica com os parâmetros mostrados na Tabela IV.2.

Tabela IV.2: Parâmetros do *layout* da clínica.

Parâmetros	Valor
Localizações	39
Recursos	15 estagiários, 5 Fisioterapeutas
Processos	20
Tipos de atendimento	10
Distribuição chegada de pacientes	<i>Lognormal</i> (8,8 , 5,5) min
Chegada média	80 pacientes
Período de simulação	1 mês

No modelo, as *Localizações* são salas e lugares onde entidades e recursos podem permanecer; *Entidade* é o paciente que usa os recursos; *Recursos* são estagiários e fisioterapeutas que fornecem o serviço à entidade; *Caminhos e nós* são rotas onde transitam recursos e entidades e *Processos* são ações possíveis das entidades dentro da clínica. Esses processos (rotina de entrada, preparação, atendimento e traslados, fim da consulta, avaliação de pacientes), são incluídos na programação em forma de operações lógicas realizadas sobre a entidade (paciente), baseados em seu comportamento

(modelo), sob uma distribuição de probabilidade que inclui as chegadas e tempos de espera.

Os *tipos de atendimento* (especialidade) são os possíveis serviços que o paciente pode receber, por exemplo, uma primeira avaliação ou uma sessão de cardioterapia. Para cada especialidade é associada, no modelo, uma porcentagem do fluxo total de pacientes. O período de simulação foi um mês de atendimento, com 30 replicações para um dia normal de atendimento, já que a clínica não muda seu comportamento ao longo da semana. O atendimento de pacientes novos, que requerem um exame inicial para a definição de seu tratamento, foi incorporado no modelo como um “serviço”, o fluxo do paciente, o comportamento e uso de recursos para este caso também foram simulados.

Os indicadores de desempenho analisados na simulação foram: *permanência* (tempo de estadia total do paciente na clínica); *espera por atenção* (tempo que o paciente espera pelo serviço); *tempo de traslado* (tempo que o paciente usa para se deslocar ao interior da clínica); *tempo real de tratamento* (tempo em que o profissional executa o tratamento); *tempo de bloqueios* (tempo em que o paciente fica sem atendimento, quando a sala ou o serviço desejado está ocupado ou lotado); *tempo de serviço* (tempo total usado pela clínica para atender toda a demanda); e *agendamento* (programação de chegada de pacientes na clínica).

As diferenças entre o modelo inicial e o sistema real foram testadas pelo teste *t-student* com $\alpha = 0,05$ e a normalidade dos dados pelo teste *Kolmogorov-Smirnov* (WILCOX, 1997).

IV.3.4 Estratégias de simulação

Para avaliar o desempenho do atendimento da clínica e otimizar seu funcionamento as seguintes estratégias foram analisadas:

a)–Variação do número de pacientes recebidos (85 - 100), para a análise de capacidade de atendimento da clínica sem a modificação da sua configuração atual. O aumento na demanda de serviços da clínica foi considerada uma variável independente do seu funcionamento. Nessa simulação, portanto, aumenta-se a chegada de pacientes para procurar os serviços para testar a sua capacidade de atendimento;

b)–Variação no planejamento de chegada de pacientes ao sistema (6,5 – 8,8 minutos), para identificar se mudanças na programação do atendimento maximizam a produção da clínica. O planejamento de chegada de pacientes consiste na marcação de hora de consulta para tratamento. Este agendamento é feito para pacientes novos e que já estão em fase de tratamento;

c)–Variação de número de recursos humanos (3 - 5 fisioterapeutas e 13 - 15 estagiários), para encontrar configurações que consigam atender à mesma demanda com menos recursos. Esta estratégia também permite identificar recursos com maior carga de trabalho e recursos com tempo ocioso. Para esta avaliação foi mantida a melhor configuração do modelo simulado em (*a*). Fisioterapeutas dos serviços terceirizados foram mantidos constantes;

d)–Variação do número de recursos humanos (16 – 20 estagiários), para maximizar o atendimento e identificar redução no tempo de espera. Para esta avaliação manteve-se o número de fisioterapeutas (5) e usou-se o agendamento proposto na estratégia (*b*). Maximizar o atendimento, nesse caso, é obter uma configuração do número de estagiários que possa atender um possível aumento na demanda;

e)–Variação de número de recursos humanos (17 – 21 estagiários), junto com uma estratégia de agendamento de chegada de pacientes a cada 5,5 minutos, para testar a capacidade máxima dos recursos físicos. Para esta avaliação manteve-se o número de fisioterapeutas (5). A estratégia é semelhante à estratégia (*d*), mas, aqui, procura-se

saber qual a capacidade total da infra-estrutura, supondo-se que se tivesse à disposição mais estagiários e um agendamento otimizado;

f)– Variação da capacidade das salas (redução de macas ou aparelhos dependendo da sala), para analisar como as possíveis mudanças ou falhas na operação dos recursos afetam a produção. Utilizou-se a configuração de recursos otimizada em (*c*).

g)– Variação do perfil de atendimento (aumentar o diminuir a porcentagem de pacientes para os serviços da clínica), para analisar se possíveis mudanças na demanda de algum serviço modificam a produção da clínica. Utilizou-se a configuração otimizada em (*a*).

h)– Otimização da clínica para a função objetivo: maximizar o atendimento com o menor número de recursos e menor tempo de espera, programando a chegada de pacientes a cada 7 minutos. Utilizou-se o módulo *SimRunner*® V.3,0 (2001, Promodel) para encontrar as melhores respostas a essa função. Foram programados os limites de variação dos recursos (3 - 5 fisioterapeutas e 13 - 15 estagiários) e as chegadas ao sistema entre (80 e 120 pacientes). Foram analisados os parâmetros de aquecimento (*warm up*) do modelo e número de replicações (quantidade de vezes que o modelo é simulado)

Para cada teste do modelo foram usadas 30 replicações com intervalo de confiança do 95 %, isto assegura que cada evento (rotina de entrada, preparação, atendimento e traslados, fim da consulta, avaliação de pacientes) ocorra ao menos uma vez, acrescentando precisão nos dados estatísticos gerados.

Capítulo V

V Resultados

Foram obtidos tempos de chegada e permanência de 3500 pacientes. Na análise do perfil de atendimento por especialidade foram obtidas as porcentagens de serviços fisioterápicos de 9500 pacientes.

A Tabela V.1 apresenta as distribuições de probabilidade para tempos de estadia de pacientes em cada sala e os testes estatísticos das distribuições. A distribuição dos pacientes por *tipo de atendimento* foi obtida dos dados coletados e é apresentada na Tabela V.2. O ciclo de chegada diária de pacientes foi programado segundo a distribuição de chegada de pacientes durante 30 dias da seguinte maneira: no turno da manhã chegam 43 % do total de pacientes; no turno da tarde 26 %, e, no turno da noite, 31% (Figura V.1).

Tabela V.1: Distribuições de probabilidade para o tempo de estadia em cada sala.

Sala	Distribuição de estadia (min)	Teste Kolmogorov (p-v)	Teste Anderson Darling (p-v)
Eletro	Lognormal(40,3;24,9)	0,89	0,93
Cinesio	Lognormal(51,28;29,30)	0,83	0,97
Mecano	Exponencial(18,4)	0,88	0,64
Campos	Lognormal(48,26;28,27)	0,94	0,92
Piscina	Lognormal(48,26;28,27)	0,94	0,92
Neuro	Lognormal(115,88;40,9)	0,42	0,69
RPG	Lognormal(116,33;33,15)	0,13	0,68
Pilates	Lognormal(78,52;22,18)	0,88	0,86
Acupuntura	Normal(54,3;13,3)	0,63	0,85
Avaliação	Lognormal(56,92;28,15)	0,12	0,49

Tabela V.2: Distribuição dos pacientes por tipo de atendimento.

Número do serviço	Tipo de Serviço	% de pacientes
1	Eletroterapia	15
2	Cinesioterapia	23
3	Mecanoterapia	19
4	Pilates	9
5	Neuroterapia	16
6	Cardioterapia	6
7	RPG	9
8	Crochetagem	1
9	Acupuntura	1
10	Avaliação	1

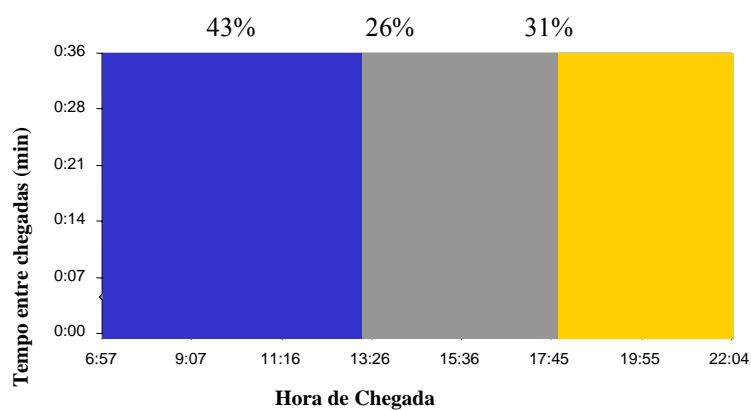


Figura V.1: Porcentagem de fluxo de pacientes em cada turno.

No modelo inicial, os testes não rejeitaram a hipótese nula de normalidade dos dados relativos ao número de pacientes e tempo de estadia (*Kolmogorov*, $p-v = 0,69$ e $p-v = 0,98$ respectivamente, $\alpha = 0,05$). A hipótese nula de não diferença entre o modelo e o sistema real não foi rejeitada (Teste *t-student* $p-v = 0,83$ e $p-v = 0,11$). A Tabela V.3 apresenta esses testes sistema real contra o modelo para validação do mesmo.

Tabela V.3 Testes de validação do modelo.

Descrição	Média Real	Média Modelo	Teste t-student (p-v)	Teste Kolmogorov (p-v)
Teste t student - não há diferença tempos estadia Real/Modelo	118,7	115,5	0,11	0,98
Teste t student - não há diferença quantidade atendimentos Real/Modelo	78,92	79,20	0,83	0,69

O modelo, com média de atendimento de 80 pacientes (simulando a situação real) teve uma *permanência média* de 115,5 min com intervalo de confiança de 95% [113,9 - 118,7] min, uma *espera por atenção* de 1,63 min e desvio padrão 2,06 min, um tempo de *traslado entre as salas, vestiário e término da terapia* de 12,64 min e tempos *real de tratamento* de 101,06 min, de *bloqueios*, 0,1 min e de *serviço* de 14,78 horas.

V.1 Estratégias de simulação testadas:

Na **estratégia α** , foi analisada a porcentagem de pacientes atendidos em relação ao total de pacientes recebidos pela clínica. O número máximo de pacientes atendidos foi obtido aumentando-se a demanda da clínica a cada rodada (30 replicações). A Figura V.2 representa a variação dessa variável em 15 rodadas. O melhor desempenho obteve uma média de 86 pacientes atendidos com intervalo de confiança de 95% [87 - 85] pacientes.

Na Figura V.2 o intervalo de confiança está representado por $x - h \leq x \leq x + h$, onde x é a media e h a precisão.

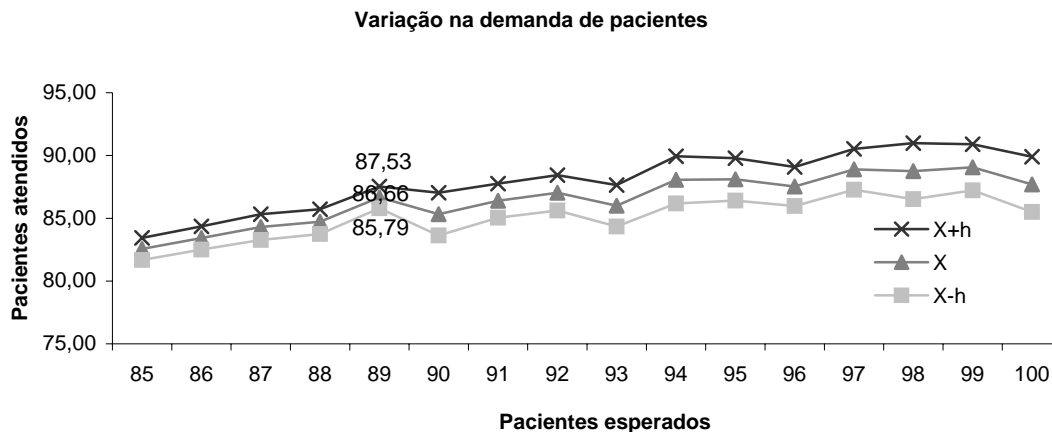


Figura V.2 : Variação na demanda de pacientes.

A maior proporção de atendimento foi 97%, quando a clínica recebeu 89 pacientes. A Figura V.3 mostra a porcentagem de pacientes atendidos em relação ao total recebido pela clínica.

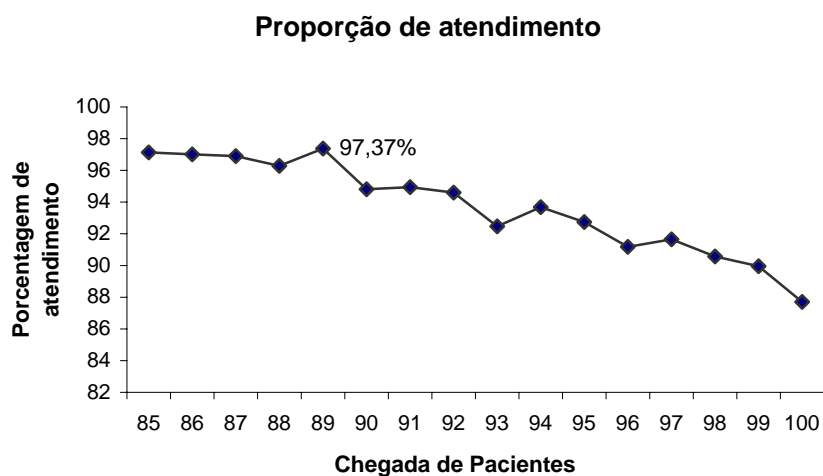


Figura V.3 : Desempenho do sistema em relação ao aumento de pacientes.

A Tabela V.4 mostra a média e os IC do atendimento de pacientes quando o parâmetro de chegada foi aumentado. Na simulação com melhor média de atendimento os tempos do paciente foram: *tempo médio no sistema* $113,91 \pm 9,91$ min, *espera por atendimento* de $1,96 \pm 2,31$ min, *tempo médio de deslocamento* de $12,52 \pm 0,88$ min, *tempo real de tratamento* de $99,26 \pm 7,41$ min e 0,15 min bloqueios no sistema.

Tabela V.4: Variação na demanda de pacientes.

Pacientes esperados	Ts	S	Precisão (h)	Intervalos de confiança			Proporção %
				x-h	x	x+h	
85	2,05	2,35	0,88	81,68	82,56	83,44	97,12
86	2,05	2,48	0,93	82,50	83,43	84,36	97,01
87	2,05	2,74	1,03	83,27	84,30	85,33	96,89
88	2,05	2,63	0,98	83,75	84,73	85,71	96,28
89	2,05	2,32	0,87	85,79	86,66	87,53	97,37
90	2,05	4,55	1,70	83,63	85,33	87,03	94,81
91	2,05	3,63	1,36	85,04	86,40	87,76	94,94
92	2,05	3,77	1,41	85,62	87,03	88,44	94,59
93	2,05	4,41	1,65	84,35	86,00	87,65	92,47
94	2,05	5,02	1,88	86,18	88,06	89,94	93,68
95	2,05	4,52	1,69	86,41	88,10	89,79	92,73
96	2,05	4,17	1,56	85,97	87,53	89,09	91,17
97	2,05	4,34	1,62	87,28	88,90	90,52	91,64
98	2,05	5,96	2,23	86,53	88,76	90,99	90,57
99	2,05	4,89	1,83	87,23	89,06	90,89	89,95
100	2,05	5,87	2,20	85,50	87,70	89,90	87,7

ts: t-student; S: desvio padrão. Em negrita melhor desempenho de atendimento.

Na **estratégia b**, variação do agendamento de pacientes, foram usados os parâmetros de tempo de chegada dos pacientes e quantidade de pacientes esperados (115 pacientes). Os demais parâmetros do sistema serem mantidos fixos nos valores do sistema inicial.

A Figura V.4 mostra o número de pacientes atendidos para as duas estratégias. A média de pacientes atendidos para recebimento de pacientes a cada 6,5 min é maior do que a estratégia para recebimento a cada 7 min.

Varição do agendamento

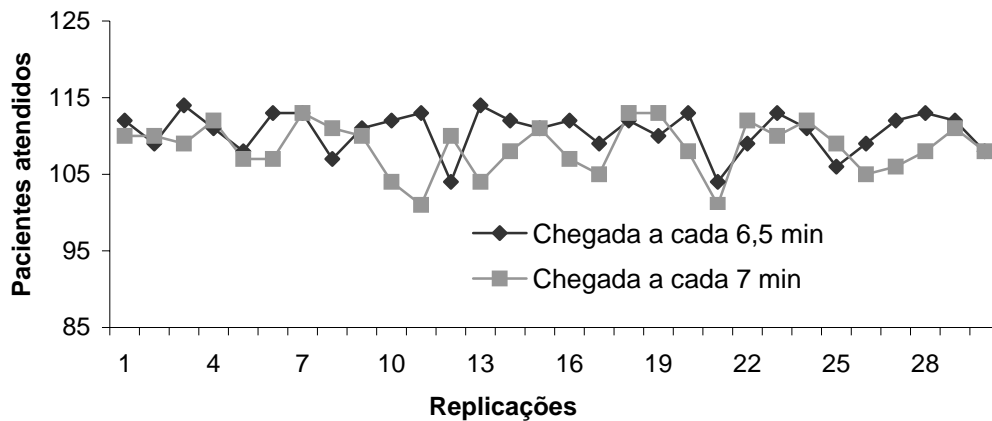


Figura V.4: Variação do agendamento de pacientes.

A Tabela V.5 mostra os resultados da simulação para 30 replicações, a *média de atendimento de pacientes* da estratégia para chegadas a cada 6,5 min foi de 110 ± 2 pacientes, a *media de atendimento de pacientes* da estratégia para chegadas a cada 7 min foi de 108 ± 3 pacientes.

A diferença entre as duas alternativas tem uma média de 2 ± 4 pacientes, e assim, precisa-se de um teste da diferença entre as médias das alternativas.

Análise de estratégia L(7;1,1 min) e L(6,5;1,1 min) de agendamento:
Para análise de duas estratégias simuladas usou-se um teste pareado.

A partir da tabela *t* Student :

$$t_{n-1; \alpha/2} = t_{30-1; 0,05/2} = 2,05$$

Assim, a precisão para o intervalo fica:

$$h = t_{n-1; \alpha/2} * S / \sqrt{n} = 2,05(4,18 / \sqrt{30}); \quad h = 1,57;$$

E o intervalo com 95% de confiança para a média das diferenças é:

$$2,07 - 1,57 \leq \mu \leq 2,07 + 1,57$$

$$0,5 \leq \mu \leq 3,63$$

Segundo o teste pareado existe uma diferença estatisticamente significativa entre as alternativas testadas, ou seja, o atendimento médio da estratégia de agendamento de pacientes a cada 6,5 min é maior do que a mesma medida de desempenho obtida pela alternativa de agendar a cada 7 minutos. Com pacientes chegando a cada 6,5 min, o *tempo médio do paciente* é $128,67 \pm 14,71$ min, o *tempo de espera médio* $15,9 \pm 9,42$, diferente do *tempo de espera* de 6,5 min quando os pacientes chegaram a cada 7 min. Outros indicadores para chegada a cada 6,5 min mostraram: *tempo real de tratamento* $99,37 \pm 5,29$ min, *tempo de deslocamento* $12,37 \pm 0,75$ min e bloqueios de 0,46 min.

Tabela V.5: Cálculo das diferenças entre as estratégias de variação do agendamento.

Replicação	Agendamento		Diferença
	6,5 min	7min	
1	112	110	2
2	109	110	-1
3	114	109	5
4	111	112	-1
5	108	107	1
6	113	107	6
7	113	113	0
8	107	111	-4
9	111	110	1
10	112	104	8
11	113	101	12
12	104	110	-6
13	114	104	10
14	112	108	4
15	111	111	0
16	112	107	5
17	109	105	4
18	112	113	-1
19	110	113	-3
20	113	108	5
21	104	101	3
22	109	112	-3
23	113	110	3
24	111	112	-1
25	106	109	-3
26	109	105	4
27	112	106	6
28	113	108	5
29	112	111	1
30	108	108	0
Média	110,56	108,5	2,07
DP	2,73	3,31	4,18

A **estratégia c** consistia da variação do número de clínicos (Fisioterapeutas e estagiários). Para a avaliação dessa estratégia foram usados os parâmetros da melhor configuração obtida na estratégia *a* (Variação da demanda, chegada de 89 pacientes por dia), no qual a clínica atende uma media de 86 pacientes com desvio padrão de 3 pacientes. O objetivo foi avaliar a relação entre a redução de recursos da clínica e o número de pacientes atendidos (Figura V.5). Na simulação a configuração de 3 fisioterapeutas e 15 estagiários foi possível atender números semelhantes de pacientes, se comparados com a configuração atual de 5 fisioterapeutas e 15 estagiários.

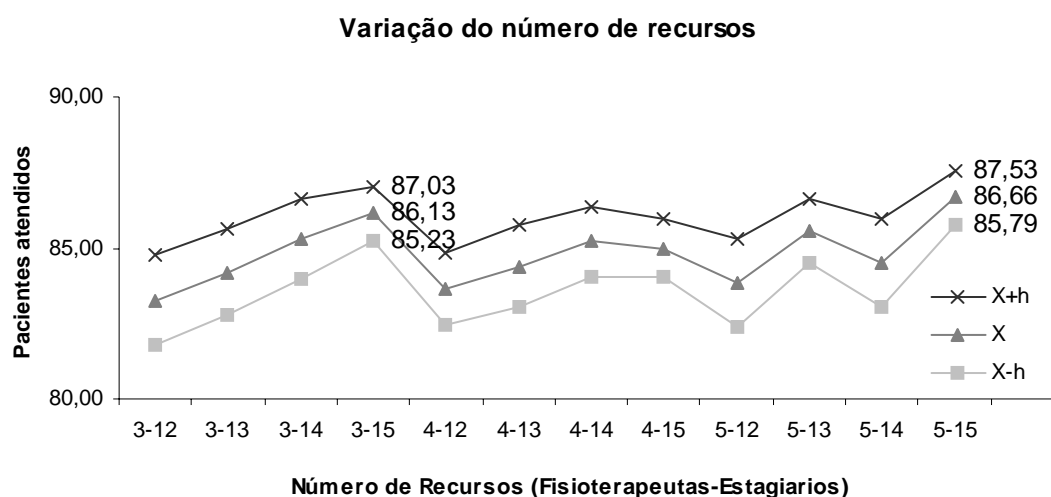


Figura V.5: Variação do número de recursos.

A Tabela V.6 mostra os intervalos de confiança ao nível de 95 % para atendimento de pacientes quando se varia o número de recursos (Fisioterapeutas e estagiários). Para avaliar se há diferença entre a quantidade de atendimento de pacientes, duas estratégias de variação de recursos foram usadas: a alternativa com resultados mais próximos de quantidade de atendimento de pacientes com o menor número de recursos e a melhor configuração da estratégia *a*.

Tabela V.6: Variação do número de recursos.

Recursos	Ts	S	Precisão (h)	Intervalos de confiança		
				x-h	x	x+h
3-12	2,05	3,95	1,48	81,78	83,26	84,74
3-13	2,05	3,77	1,41	82,79	84,20	85,61
3-14	2,05	3,54	1,32	83,98	85,30	86,62
3-15	2,05	2,40	0,84	85,23	86,13	87,03
4-12	2,05	3,13	1,17	82,46	83,63	84,80
4-13	2,05	3,61	1,35	83,05	84,40	85,75
4-14	2,05	3,16	1,18	84,02	85,20	86,38
4-15	2,05	2,51	0,94	84,06	85,00	85,94
5-12	2,05	3,86	1,44	82,42	83,86	85,30
5-13	2,05	2,87	1,07	84,49	85,56	86,63
5-14	2,05	3,96	1,48	83,02	84,50	85,98
5-15	2,05	2,32	0,87	85,79	86,66	87,53

Em negrita melhor desempenho da simulação

A Tabela V.7 apresenta os resultados das duas estratégias em 30 replicações e a diferença entre os grupos. Usando o *teste-t* pareado entre as alternativas (3-15) e (5-15) fisioterapeutas e estagiários, respectivamente, obtém-se;

A partir da tabela *t* Student [16]:

$$t_{n-1; \alpha/2} = t_{30-1; 0,05/2} = 2,05$$

Assim, a precisão para o intervalo fica:

$$h = t_{n-1; \alpha/2} * S / \sqrt{n} = 2,05(2,49 / \sqrt{30})$$

$$h = 0,93$$

E o intervalo com 95% de confiança para a média das diferenças é:

$$-0,5 - 0,93 \leq \mu \leq -0,5 + 0,93$$

$$-1,46 \leq \mu \leq 0,40$$

Ao passar pelo 0, o intervalo de confiança do teste pareado indica que não pode ser concluído nada acerca da diferença entre as medias das alternativas testadas.

Tabela V.7: Teste de diferença para variação de recursos.

Replicação	Recursos		Diferença
	3 - 15	5 - 15	
1	88	89	-1,00
2	85	88	-3,00
3	89	88	1,00
4	88	84	4,00
5	87	89	-2,00
6	84	86	-2,00
7	85	85	0,00
8	83	85	-2,00
9	88	88	0,00
10	85	89	-4,00
11	88	88	0,00
12	87	87	0,00
13	87	86	1,00
14	87	86	1,00
15	86	88	-2,00
16	81	87	-6,00
17	88	88	0,00
18	89	88	1,00
19	80	82	-2,00
20	86	89	-3,00
21	89	88	1,00
22	89	87	2,00
23	86	85	1,00
24	88	87	1,00
25	83	78	5,00
26	83	87	-4,00
27	87	87	0,00
28	88	85	3,00
29	86	88	-2,00
30	84	88	-4,00
Média	86,13	86,66	-0,53
DP	2,4	2,32	2,49

Segundo o teste *t-student* para comparar médias dos dois grupos ($p-v = 0,3859$) não rejeita-se a hipótese nula de igualdade entre o atendimento nas duas estratégias.

A **estratégia d** consistiu da variação do número de recursos humanos (16 – 20 estagiários), para maximizar o atendimento e identificar redução no tempo de espera. Para esta avaliação manteve-se o número de fisioterapeutas (5) e usou-se o agendamento proposto na estratégia (b) com chegadas de 120 pacientes ao sistema. A Figura V.6 mostra o número de pacientes atendidos quando aumentado o número de estagiários na clínica. A maior média de atendimento foi obtida com uma configuração de 18 estagiários.

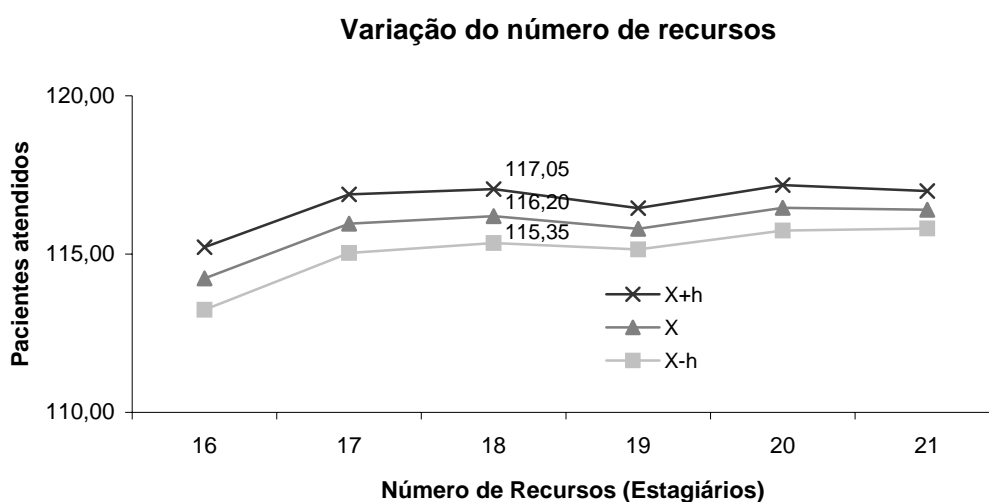


Figura V.6: Variação do número de estagiários.

A Tabela V.8 apresenta a variação do número de estagiários. Observa-se que o aumento de estagiários não varia significativamente o número de pacientes atendidos, a média se mantém entre 114 e 116 pacientes, 6 a mais se comparada com os resultados da estratégia b. O sistema, acima de 18 estagiários mantém uma média de atendimento de 116 pacientes, e só apresenta redução no tempo de espera de pacientes pelo serviço (Figura V.7).

Tabela V.8: Variação de estagiários.

Estagiários	Tempos de espera (min)	Pacientes atendidos		
		Intervalos de confiança		
		x-h	x	x+h
16	6,08	113,24	114,23	115,22
17	5,53	115,04	115,96	116,88
18	1,52	115,35	116,20	117,05
19	1,29	115,15	115,80	116,45
20	0,98	115,74	116,46	117,18
21	0,54	115,81	116,40	116,99

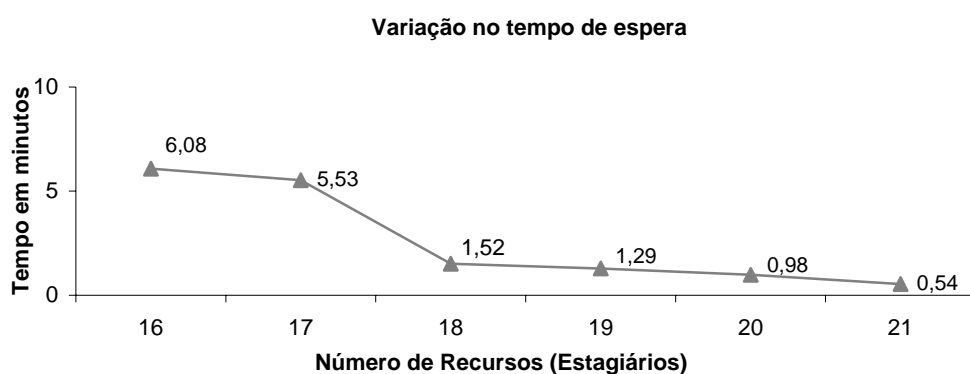


Figura V.7: Redução no tempo de espera pelo serviço.

A **estratégia e** consistiu da variação do número de recursos humanos (16 – 20 estagiários), junto com o agendamento da chegada de pacientes (Lognormal (5,5;1,1) min) a cada 5,5 minutos, para analisar a capacidade máxima de atendimento com o aumento da demanda de pacientes. Para esta avaliação manteve-se o número de fisioterapeutas (5) e modificou-se o parâmetro de chegada de pacientes (135).

A Figura V.8 mostra como a clínica pode atender em média 130 pacientes com 5 fisioterapeutas e 18 estagiários. Nesta simulação, o objetivo foi testar a capacidade para atender uma maior demanda, o que pressupõe mudar o agendamento (chegada de pacientes a cada 5,5 minutos) para conseguir dar conta do maior fluxo de pacientes entrando na clínica.

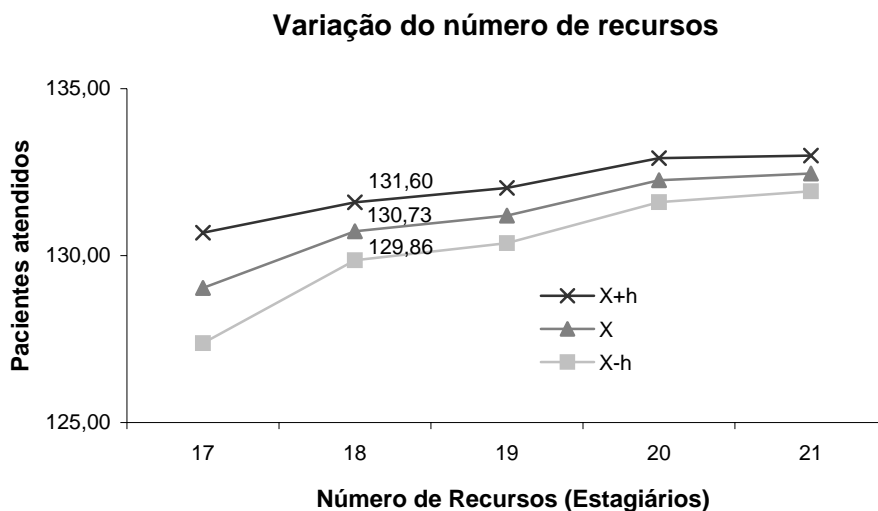


Figura V.8: Variação do número de estagiários e agendamento.

A Tabela V.9 apresenta os tempos de espera e variação do número de estagiários. Observa-se que o aumento no número de pacientes atendidos não varia significativamente o número de estagiários: a média se mantém entre 129 e 132 pacientes. A simulação com 16 e 17 estagiários apresenta falha de atendimento de 1 paciente, por capacidade insuficiente de recursos. Já o sistema com 20 estagiários realizou um atendimento de 132 pacientes e apresenta um leve aumento no tempo de espera de pacientes pelo serviço de 4,51 min se comparado com o sistema atual que apresenta um tempo de espera de 2 min.

Tabela V.9: Variação de estagiários e agendamento.

Estagiários	Tempos de espera (min)	Pacientes atendidos Intervalos de confiança		
		x-h	x	x+h
17	17,00	127,38	129,03	130,68
18	11,22	129,86	130,73	131,60
19	7,93	130,37	131,20	132,03
20	4,51	131,60	132,26	132,92
21	2,36	131,92	132,46	133,00

Em negrita o melhor desempenho da simulação

A **estratégia f** consistiu da variação da capacidade das salas (redução de macas ou aparelhos, dependendo da sala), para analisar as possíveis mudanças na produção da clínica. Utilizou-se a configuração de recursos otimizada em (c): chegada de 89 pacientes, 3 fisioterapeutas, 15 estagiários. As capacidades das salas no modelo inicial são: Cinesioterapia (10), Cardioterapia (6), Mecanoterapia (9) e RPG(5).

A Figura V.9 mostra o atendimento de pacientes quando se varia a capacidade das salas de Cinesioterapia (CT), Cardioterapia (CA), Mecanoterapia (MC) e RPG.

A primeira simulação testou a produção da clínica com uma maca ou aparelho a mais do que o modelo inicial, dependendo da sala. A seguir diminuiu-se em um a capacidade das salas até a sétima simulação, no qual os setores de CA e RPG ficaram com só 1 recurso. O atendimento passou de 86 pacientes (96,81%) dos 89 pacientes esperados, para 82 pacientes (92,81%).

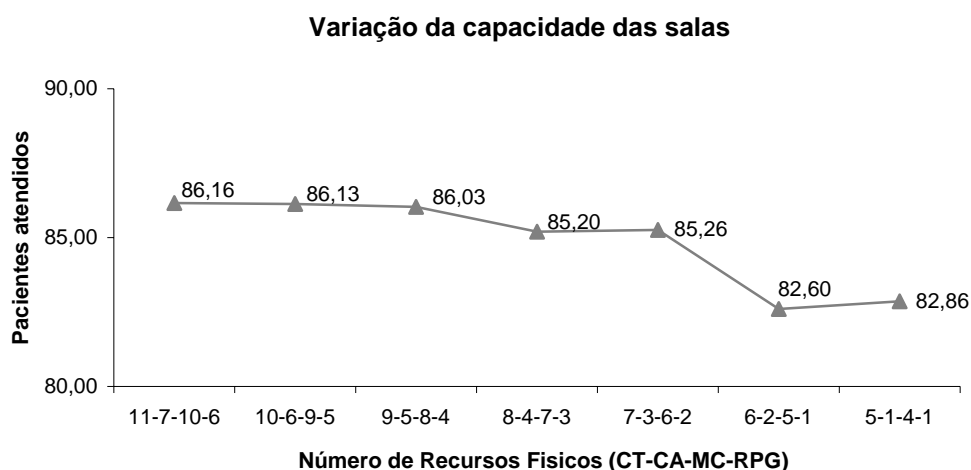


Figura V.9: Variação na capacidade das salas.

A Tabela V.10 apresenta as porcentagens de atendimento e os tempos de espera quando as capacidades das salas foram reduzidas. Apresenta-se uma redução da capacidade atual da sala de Cinesioterapia ao 50%, da capacidade da sala de

Cardioterapia ao 16%, da capacidade da sala de Mecanoterapia ao 44% e da capacidade da sala de RPG ao 20%.

Tabela V.10: Variação da capacidade das salas.

Capacidade (CT-CA-MC- RPG)	Desempenho do sistema (%)	Tempos de espera (min)	Pacientes atendidos Intervalos de confiança		
			x-h	x	x+h
11-7-10-6	96,81	1,41	85,32	86,16	86,99
10-6-9-5	96,78	2,28	85,23	86,13	87,02
9-5-8-4	96,66	1,59	85,06	86,03	86,99
8-4-7-3	95,73	2,13	84,00	85,2	86,39
7-3-6-2	95,80	3,63	84,42	85,26	86,09
6-2-5-1	92,81	5,59	81,14	82,6	84,05
5-1-4-1	93,10	5,91	81,05	82,86	84,66

A Figura V.10 mostra que quando recursos das salas foram diminuídos o tempo de espera pelo serviço aumentou de 1,41 para 5,91. Nesses casos, os recursos físicos existentes já estavam ocupados.

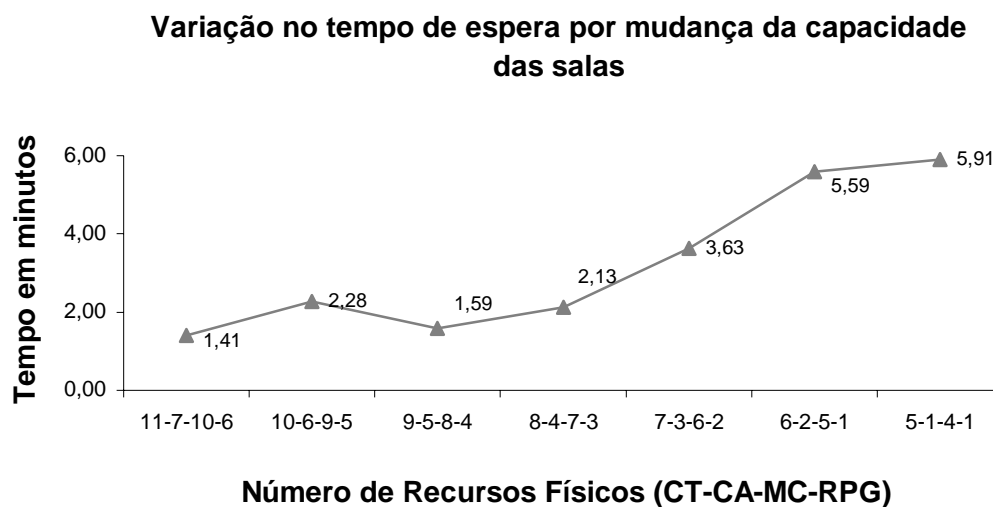


Figura V.10: Tempo de espera na variação da capacidade das salas.

A **estratégia g** consistiu na variação do perfil de atendimento (aumentar ou diminuir a porcentagem de pacientes para os serviços da clínica), para analisar as possíveis mudanças na produção da clínica. Utilizou-se a configuração de recursos otimizada em (a) com chegada de 89 pacientes.

Nesta estratégia alterou-se a porcentagem de fluxo nos diferentes setores da clínica. Por exemplo, a clínica recebeu mais pacientes para o setor Neuroterapia do que setores como Eletroterapia e Mecanoterapia, e assim por diante.

Foram classificados para a variação três grupos, o primeiro (T) são os pacientes de Traumatoterapia que usam os serviços dos setores de eletro, Cinesio e mecanoterapia; o segundo contém a salas de N-CR-RPG e o terceiro (A-P) é composto pelos serviços terceirizados da clínica (Tabela V.11).

Tabela V.11: Grupos por setor

Grupos	Descrição
1	Salas de Mecano, Electra e Cinesioterapia.(T)
2	Salas de Neuro, Cardio e RPG (N-CR-RPG)
3	Salas de Acupuntura e Pilates (A-P)

A Tabela V.12 apresenta as variações dos serviços da clínica por setor. A estratégia inicial é a configuração atual da clínica. As mudanças nas salas de Eletroterapia, Cinesioterapia e Mecanoterapia (T), Neuroterapia (N), Cardioterapia (CR), RPG, Acupuntura (A) e Pilates (P) também são apresentadas nesta tabela.

Tabela V.12: Estratégias de simulação para os perfis.

Número de estratégia	Descrição
1	20% mais de Fluxo em T
2	40% mais de Fluxo em T
3	60% mais de Fluxo em T
4	80% mais de Fluxo em T
5	20% mais de Fluxo em N-CR-RPG
6	40% mais de Fluxo em N-CR-RPG
7	60% mais de Fluxo em N-CR-RPG
8	80% mais de Fluxo em N-CR-RPG
9	100% mais de Fluxo em N-CR-RPG
10	120% mais de Fluxo em N-CR-RPG
11	150% mais de Fluxo em A-P

A Tabela V.13 mostra os valores das mudanças em porcentagens de atendimento em cada setor e o atendimento médio de pacientes. O primeiro grupo (T), com variação de até 80% de fluxo de pacientes a mais do já existente, conseguiu atender uma média de 84 pacientes, dois a menos do que o sistema inicial.

Tabela V.13 Variação no perfil de atendimento.

Est	Tipo de Serviço	Porcentagem de pacientes por serviço em cada simulação											
		Inicial	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Eletroterapia	15	18	21	24	24	14	13	11,4	9,2	8	1	10
2	Cinesioterapia	23	27,6	32,2	36,1	38	20	17,6	17	15	13	1	17
3	Mecanoterapia	19	22,8	26,6	30,4	31	17	16	13	12	10	1	15
4	Pilates	9	6,15	3,5	2	1	8,8	7	6	5	4	1	27
5	Neuroterapia	16	12	8	3	1	19,2	22,4	25,6	28,8	32	38	12
6	Cardioterapia	6	4,45	2,4	1	1	7,2	8,4	9,6	10,8	12	24	6
7	RPG	9	6	4,5	2	1	10,8	12,6	14,4	16,2	18	31	8
8	Crochetagem	1	1	0,6	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1
9	Acupuntura	1	1	0,6	0,5	1	1	1	1	1	1	1	3
10	Avaliação	1	1	0,6	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1
Atendimento total de Pacientes		86,66	85,9	85,03	84,6	83,76	85,33	85,2	85,86	84,4	85,9	83,8	85,06

O segundo grupo de simulação (N-CR-RPG) com aumento de até 100% de fluxo de pacientes a mais do já existente, conseguiu atender uma média de 85 pacientes, (um a menos do que o sistema inicial). Na décima simulação, quando o sistema variou para atendimento do 120% a mais do existente, o modelo apresentou um bloqueio, e houve falha na chegada de pacientes na clínica. A média de atendimento ficou em 83 pacientes. O terceiro, grupo de serviços terceirizados (A-P) com variação de até 150% de fluxo de pacientes a mais do já existente, conseguiu atender uma média de 85 pacientes, um a menos do que o sistema inicial.

Analisando-se os grupos 1 e 2, um aumento no fluxo até 50% apresenta diminuição de 1 paciente na produção total da clínica, o tempo útil de fisioterapeutas e estagiários

aumenta para 26 % devido ao maior fluxo, e o tempo de espera se mantêm em 2,11 min. Na estratégia de fluxo de 80% de pacientes a mais para as salas do grupo 1, ocorreu falha na chegada de pacientes, e o mesmo aconteceu para 120% pacientes a mais no grupo 2. A qualidade do serviço caiu por devido ao tempo de espera 9,76 min e bloqueio de 8,1 min

A Figura V.11 mostra a quantidade de atendimentos de pacientes quando as mudanças nos setores foram feitas. A menor média de pacientes atendidos foi de 83 nas estratégias 4 e 10 e a variação das estratégias não modificou em mais de 3 o número de pacientes da clínica, o que pode significar que mudanças na demanda dos serviços não afetam a produção.

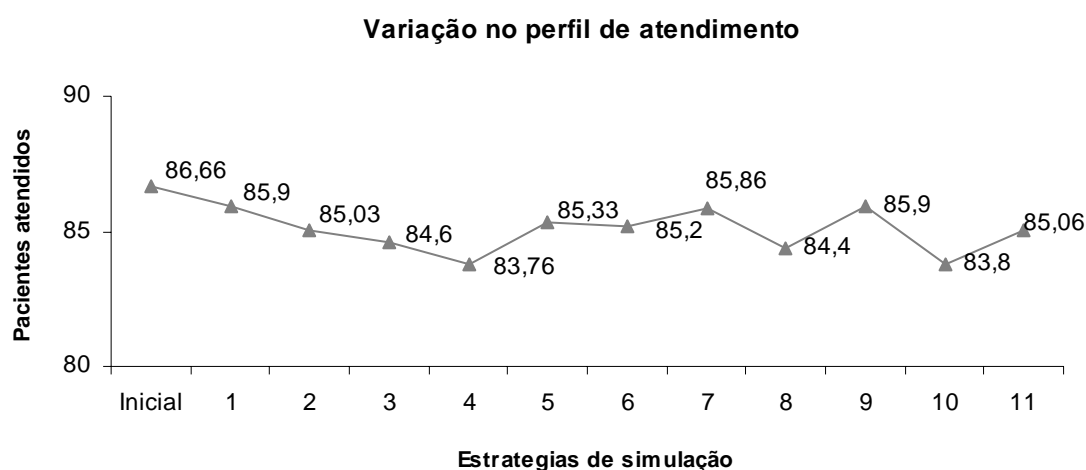


Figura V.11 : Variação no perfil de atendimento.

A **estratégia h** consistiu da otimização da clínica para a função objetivo de maximizar o atendimento de pacientes com o menor número de recursos e menor tempo de espera, programando chegada de pacientes a cada 7 minutos. O sistema de otimização do módulo *SimRunner* mostrou que a estimativa ao longo da simulação tem

um desvio padrão de 3 pacientes. A Figura V.12 mostra um período simulado de 15 horas e uma variação da função de saída (pacientes atendidos) a cada hora.

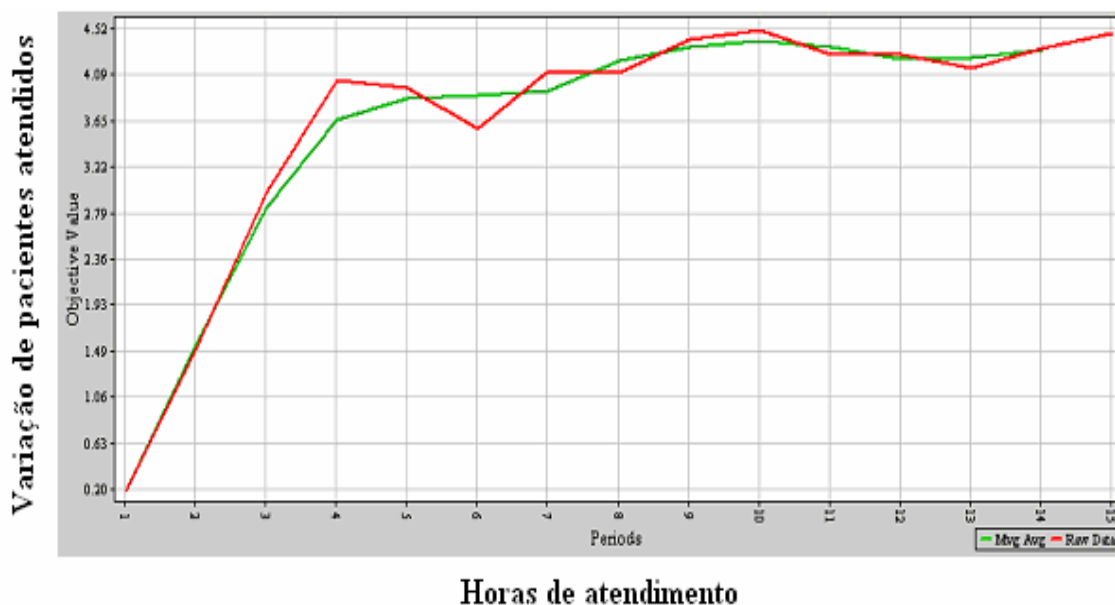


Figura V.12: Atendimento de pacientes em um dia de simulação.

O programa indicou que não é necessário período de aquecimento de dados e que para realizar a otimização seriam necessárias 31 replicações.

Foram executados 25 experimentos (capacidade máxima da versão acadêmica) com 31 replicações cada. Os resultados indicaram que poderiam ser atendidos até 112 pacientes com 5 fisioterapeutas e 15 estagiários, programando-se a chegada de pacientes a cada 7 min, com tempo de espera de 8,8 minutos.

Capítulo VI

VI Discussão

Atualmente, unidades de saúde possuem a possibilidade de utilizar técnicas, como a simulação, que permitem o estudo de incrementos na demanda dos serviços, auxiliando à tomada de decisões, para identificar, por exemplo, a quantidade de recursos mais adequada e o planejamento da chegada de pacientes.

O *software* Medmodel®, uma ferramenta de simulação por eventos discretos, é um pacote de simulação dinâmica direcionada ao setor Saúde, que oferece as vantagens das linguagens descritas por LAW e KELTON (1991), DE BORDA (1998) e FUSCO (1997). Ele pode ser usado para simular hospitais, centros médicos, clínicas, laboratórios, serviços de planejamento de emergências e empresas de arquitetura hospitalar. Entre suas possibilidades estão a análise e planejamento de recursos e equipamentos, o projeto e instalação de novas instalações, a análise logística e de fluxo, a gestão do atendimento, a otimização e a reengenharia (PROMODEL, 2001). Suas desvantagens são o custo de licenciamento, a definição limitada de localizações (por ter sido utilizada uma versão acadêmica) e a não-interação com outros programas de simulação.

Como discutidos modelos de simulação permitem representar as características de um sistema, levádo-se em conta suas limitações. No modelo desenvolvido aqui, as limitações se referem a descartar da simulação o estudo das patologias específicas apresentadas pelos pacientes, consideradas implícitas no funcionamento de cada serviço. Por exemplo, o tratamento para ruptura de ligamento anterior de joelho pertence ao serviço de traumatoterapia; assim, não foram incluídos na simulação os detalhes desse procedimento clínico, até mesmo por não existir um padrão único de

passos de tratamento. Porém, foi utilizada uma distribuição de probabilidades representativa dos tempos empregados para os tratamentos.

Quanto ao período de simulação empregado, não foi necessária a utilização de um tempo de aquecimento (*warm up*) dos dados, uma vez que o sistema analisado foi considerado *terminal* (com início e fim bem definidos), ou seja, foi simulado o estado inicial do sistema, seu regime permanente e seu término (CHWIF e MEDINA, 2006).

O processo de avaliação e aplicação de estudos em uma organização pode enfrentar reações dos integrantes do sistema, que afetem a execução do projeto. No caso deste estudo, a receptividade dos diretores da clínica foi fundamental para permitir acesso à informação existente. Nas entrevistas, profissionais coordenadores dos setores apresentaram grande interesse e contribuíram com seu conhecimento do sistema, indicando o fluxo dos pacientes e os procedimentos de tratamento normalmente usados. Ressalta-se o fato de que tanto diretores quanto coordenadores acreditavam que a clínica estava na sua capacidade limite, o que não foi confirmado pelos resultados. Os estagiários colaboraram com todas as informações pedidas e se interessaram pela metodologia do projeto. Em geral, os profissionais não conheciam a metodologia de uma simulação computacional e seus objetivos, mas entendiam que uma otimização dos recursos poderia ser feita, conhecendo-se as condições sob as quais a clínica funcionava. O desconhecimento da técnica gerava dúvidas nos profissionais, sanadas tanto por reuniões com os envolvidos no projeto quanto por explicações detalhadas sobre a metodologia e seus objetivos durante a fase de coleta de dados. Isto permitiu que o processo da coleta de dados fosse bastante facilitado.

Na fase de coleta de dados, inicialmente foi realizado o acesso ao *software* administrativo da clínica, que não apresentou maiores dificuldades. Os tempos por especialidade, no entanto, tiveram que ser coletados diretamente. Para a coleta desses

tempos, o processo foi mais trabalhoso e demorado, pois, no início, o analista teve dificuldades na identificação dos pacientes, que não possuíam um número de registro, sendo identificados apenas por seu nome. Para solucionar o problema, os profissionais informavam na entrada o nome do paciente e a patologia, e, na saída, o destino (sala) do paciente.

No presente estudo, oito estratégias de simulação foram testadas, englobando o agendamento da chegada de pacientes, o número de profissionais (fisioterapeutas e estagiários), o número de recursos físicos (aparelhos) e a capacidade das salas. Segundo a simulação na *estratégia a* (variação do número de pacientes recebidos para identificar o máximo de pacientes que poderia ser atendido sem modificar o funcionamento da clínica), quando o volume de chegada de pacientes aumentou, a produtividade da clínica diminuiu. Uma explicação é que a chegada de pacientes novos ocupa o tempo que recursos (fisioterapeutas) usariam para terminar o tratamento de pacientes já existentes no sistema. Esta estratégia mostrou que, sem se mudar o agendamento e os recursos (5 fisioterapeutas e 15 estagiários), o sistema pode atender até 86 pacientes. No sistema real, podem ser agendados ou esperados 100 pacientes, mas estes serão atendidos pelo deslocamento ou aumento de recursos nas horas de maior fluxo (turno da manhã e da noite).

No sistema real, chegadas acontecem em média a cada 8,8 minutos com uma distribuição lognormal. Em relação à estratégia b (variação no planejamento de chegada de pacientes ao sistema), duas estratégias de agendamento foram avaliadas, com chegadas a cada 6,5 minutos e a cada 7 minutos, com o objetivo de obter o aumento na produtividade sem afetar o atendimento (por exemplo, falhas na entrada de pacientes ao sistema por lotação ou maior tempo de espera). Mas, como 30 segundos podem afetar a produção do sistema? Já se percebeu, pelas médias apresentadas no Capítulo V, que

uma alternativa consegue melhores resultados do que outra, mas para responder à pergunta acima, um teste-t das duas estratégias foi necessário, para verificar se as diferenças entre as duas formas de agendamento eram estatisticamente significantes. Contudo, a programação ou marcação de uma agenda a cada 6 ou 7 minutos, como mostrado nas simulações, apresenta um diferencial no atendimento relativo ao tempo de espera e quantidade de pacientes atendidos. Mas, na realidade logística, programar chegadas, por exemplo, às 7:32 am ou às 3:08 pm é pouco aplicável. As várias replicações do modelo mostraram que, quando o fluxo de pacientes aumenta acima de 100, o sistema mantém sua funcionalidade se o agendamento é programado para receber pacientes em intervalos mais curtos de tempo. Essa simulação envolveu o estudo das chegadas reais, que contam com atrasos para consultas, pacientes que chegam antes da hora marcada e pacientes que chegam na hora certa. Assim, em termos práticos, a clínica poderia agendar pacientes a cada 5 ou 10 minutos.

Na estratégia c (variação de número de recursos humanos para otimizar a quantidade de recursos para a demanda existente), a análise mostra que o sistema poderia atender a mesma quantidade de pacientes com 2 fisioterapeutas a menos, e os indicadores de desempenho não seriam afetados. O tempo médio do paciente no sistema para essa alternativa seria de 115,77 ($\pm 11,48$) min, o tempo de espera médio 2,28 ($\pm 3,29$) min, o tempo real de tratamento 100,04 ($\pm 8,12$) min, o tempo de deslocamento 13,29 ($\pm 1,38$) min e o de bloqueios de 0,15 min. Nessa estratégia, foi identificado um aumento da produtividade dos fisioterapeutas de 23% para 39 %.

Na estratégia d (aumento de estagiários para maximizar o atendimento e identificar redução no tempo de espera), os resultados indicam que o aumento de estagiários não afetou a quantidade de pacientes atendidos. Essa afirmação sugere que apenas se a clínica sofresse um aumento na demanda de pacientes mais recursos seriam necessários,

e, talvez, seria necessária uma outra configuração de chegada, já que o fluxo de entrada seria maior. Essa hipótese foi testada na *estratégia e*, em que aumentou-se a demanda da clínica para testar a capacidade de sua infra-estrutura. Assim, essa estratégia estudou a implementação de mais profissionais e uma configuração de chegada diferente. Sem modificações na infra-estrutura, mas, apenas na quantidade média de estagiários, a clínica estaria preparada para atender até 130 pacientes, com um agendamento adequado. Os resultados desta estratégia mostraram que uma configuração ótima estaria baseada no agendamento e no número de recursos existentes, e que o agendamento deve variar diretamente em função dos pacientes esperados no sistema.

A *estratégia f* (variação da capacidade das salas para analisar como mudanças ou falhas na operação dos recursos afetam a produção) mostrou que a diminuição de 16% ou mais na capacidade das salas afeta em 3% a produção da clínica, número aparentemente pequeno se comparado com a quantidade de recursos físicos excluídos do sistema. Além da produção, o tempo de espera seria afetado, pois os recursos físicos existentes estariam excessivamente ocupados. Dito de outra forma, se a clínica adotasse uma estratégia de redução de infra-estrutura, o sistema atingiria seu limite de atendimento e poderia não ser capaz de atender novos pacientes se a demanda crescesse.

Na *estratégia g* (variação do perfil de atendimento, ou seja, alteração das porcentagens de pacientes relativas aos serviços da clínica), a simulação mostrou que variações nos perfis dos pacientes, na sua distribuição entre os serviços da clínica, não afetaria a produção. Isto pode ser devido ao fato de que as capacidades instaladas em cada sala ainda não estão perto do seu limite, e, portanto, variações de aumento de fluxo ainda não prejudicam o atendimento.

Na *estratégia h* (otimização da clínica para maximizar o atendimento de pacientes com o menor número de recursos e menor tempo de espera), procurou-se usar a

ferramenta de otimização do *software* de simulação para testar o modelo. Os resultados se mostraram semelhantes aos da *estratégia b* (variação do agendamento). Para a versão do *software* usado, existe uma restrição de 25 experimentos, o que inviabiliza a análise de todas as possibilidades existentes na simulação. Assim, observou-se que a avaliação sistemática manual para testar alternativas foi comparável à automática, gerada pelo programa. Contudo, as estratégias empregadas sugerem várias outras hipóteses, por exemplo, o número de recursos pode variar de turno para turno, pode-se gerar uma nova distribuição das salas, e o tempo de atendimento poderia variar, dependendo da demanda da clínica a cada dia.

Durante a coleta de dados, verificou-se que o turno da tarde era aquele em que a clínica possuía mais recursos, com fluxo menor de pacientes. Isto gerava um tempo “ocioso” aproveitado para casos de estudo. Já no turno da manhã e da noite, cada fisioterapeuta programa uma hora de estudo semanal, e a atividade clínica diária era parte do aprendizado do estagiário e a hora de estudo podia deslocar-se de horário ou dia, dependendo do fluxo de pacientes. Alguns fisioterapeutas preferiam mostrar as técnicas na hora do tratamento, para resolver dúvidas de uma maneira mais direta, assim, cumprindo parte do objetivo do ensino. Tempos “ociosos”, na verdade, podem ser usados para estudo de casos, uma vez que admite-se que, em uma clínica-escola, o tempo possa ser utilizado para aprender e aperfeiçoar procedimentos clínicos. Se evidencia, então, que decisões obtidas a partir desses resultados poderiam ser diferentes em outro tipo de clínica (particular ou pública) que não estejam vinculadas à atividade de ensino.

Portanto, diminuir recursos com fisioterapeutas ou estagiários pode não ser viável para o objetivo de ensino, e se poderia pensar em aumentar o número de fisioterapeutas e estagiários para aumentar o tempo dedicado ao estudo sem que a demanda diária de

atendimentos interfira nas horas de estudo ou aula dentro da clínica. Por fim, se houvesse uma alocação de recursos exclusivamente preocupada em atender à demanda de pacientes, as atividades de ensino seriam difíceis de programar.

O funcionamento da clínica-escola tem como objetivo o serviço social e a formação de novos fisioterapeutas, o que faz com que até mesmo o tratamento não seja limitado a uma só técnica, e, sim, se preciso, inclua todos os recursos da clínica. Contudo, a clínica não possui um serviço de avaliação que leve em conta as opiniões dos pacientes. Esse serviço, se incluído, poderia apoiar a avaliação da qualidade do serviço do ponto de vista do paciente.

Um dos objetivos deste trabalho foi apresentar, para a diretoria da clínica, as estratégias simuladas para apoiar a gestão do serviço. No trabalho de VILLAMIZAR *et al.* (2006) se descrevem as alternativas propostas. Uma implementação na clínica foi feita modificando o número de recursos e a forma de agendar pacientes. Os profissionais e a diretoria se mostraram satisfeitos com os efeitos das mudanças, porém, nenhuma análise do comportamento do sistema foi desenvolvida. Ficam como trabalhos futuros uma nova coleta de dados e avaliação do impacto das novas estratégias implantadas na clínica, uma pesquisa sobre a satisfação pelo serviço e qualidade do atendimento envolvendo o ponto de vista do paciente e uma avaliação do efeito das estratégias sobre o ensino dos novos fisioterapeutas. Ainda, outros indicadores para gestão clínica poderiam ser incluídos no estudo, por exemplo, a efetividade, o custo, a relação entre a capacidade e a demanda, e também, outros fatores de interesse em serviços de atendimento público e privado.

Capítulo VII

VII Conclusão

Para os indicadores analisados, as principais conclusões que podem ser feitas, relacionando as estratégias que avaliaram a capacidade da clínica, o número de profissionais e de recursos físicos, os tempos de espera e o programa de agendamento, são:

- A clínica não está perto da sua capacidade de produção máxima, estando em (aproximadamente) 72% desta, e pode aumentar sua demanda de 80 para 110 pacientes por dia sem modificar recursos.

- As estratégias de agendamento modificam significativamente a produção da clínica, em torno de 21%, (de 89 para 108 pacientes).

- Um aumento na demanda de mais de 110 pacientes implicaria na necessidade de um aumento de estagiários.

- Acrescentando-se profissionais o limite da demanda poderia ser elevado até 132 por dia.

- Modificações no perfil de atendimento inferiores a 50% em cada especialidade (alteração na demanda entre os serviços de Traumatologia, Neuro, etc) não afetam a produção da clínica.

Como conclusão, a técnica de simulação mostrou-se útil para gerar indicadores de gestão de uma clínica de fisioterapia, analisando configurações que maximizam a prestação do serviço. A tomada de decisões e a gestão de Saúde de um setor ou clínica pode-se basear na técnica de simulação computacional, para fornecer uma visão mais detalhada dos eventos e conseqüências por possíveis mudanças no sistema. O estudo de simulação analisou o comportamento particular do sistema de uma clínica. Esse comportamento é susceptível de variação de sistema para sistema, o que indica que

outras clínicas de fisioterapia não necessariamente teriam o mesmo desempenho. Com isto, a análise de entradas do sistema e o levantamento de dados deveriam ser feitos para gerar simulações em cada sistema específico. Porém este estudo mostrou metodologia a ser empregada para um desenvolvimento, análise e avaliação do sistema.

Referências Bibliográficas

- AHARONSON-DANIEL L., FUNG H., HEDLEY A.J., 1996, “Time studies in A&E departments – a useful tool for management”, *Journal of Management In Medicine*, v. 10, n. 3, p. 15-22.
- BALDWIN, L., ELDABI, T., PAUL, R., 1999 “Simulation Modeling as an aid to decision-making in health care management: the adjuvant breast cancer (ABC) trial”, In: *Proceedings of the 31st conference on Winter Simulation: Simulation a bridge to the future*, v. 2, pp.1523-1531, Phoenix, Dec.
- BANKS, J., GIBSON, R., 1997, “Simulation modeling: some programming required”. *IIE Solutions*, (Feb), pp. 1-8.
- BITTAR, O.J., NOGUEIRA, V., 1996, “Produtividade em hospitais de acordo com alguns indicadores hospitalares”. *Revista de Saúde Pública*. v.30, n. 2 (Fev), no.1, p.53-60.
- BUSSAB, W.O., MORETTIN, P.A., 2004, “Inferência para duas populações”: In: Ramos K. (eds), *Estatística Básica*, 5 ed., chapter 13, São Paulo, Saraiva
- CHWIF, L., MEDINA, A, 2006, *Modelagem e Simulação de eventos discretos: teoria & practica*, 1 Ed. São Paulo, Ed. dos Autores.

- COELLI, F.C., FERREIRA, R.B., PEREIRA, W.C.A., ALMEIDA, R.M.V.R., 2004, “Simulação Computacional de estratégias de manutenção de equipamentos de mamografia”: *In: Proceda de IFMBE*, v. 5, pp. 397-400, João Pessoa, Set.
- CONNELLY, L.G., BAIR, A.E., 2004, “Discrete event simulation of emergency department activity: a platform for system-level operations research”, *Acad Emerg Med*. v.11, n.11 (Nov), pp.1177-1185.
- DE BORDA, G., 1998, *Desenvolvimento de uma abordagem para a inserção da simulação no setor hospitalar de porto alegre*. Dissertação de M.Sc., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RGS, Brasil.
- EDDINS, W.R., SUTHERLAND, D.E., CROSSLIN, R.L., 1991, “Dynamic Modelling of information systems”: *In: Sol H.G., Van Hee K.M., Using modeling and simulation in the analysis and design of information systems*, 1 Ed, Chapter 3, North Holland, Elsevier Science Publishers.
- FERREIRA, R.B., 2005, *Simulação computacional na análise na análise de fluxo de atendimento em um centro cirúrgico de um Hospital de grande porte*, Dissertação de M.Sc, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- FERREIRA, R.B., COELLI, F.C., PEREIRA, W.C.A., ALMEIDA, R.M.V.R., 2004, “Análise de desempenho do fluxo de atendimento hospitalar com auxílio da simulação computacional”, *In: Proceda de IFMBE*, vol. 5, pp. 389-392, João Pessoa, Set.

FISHMAN, G.S., 2001, *Discrete-Event Simulation; Modeling, Programming and Analysis*, Springer-Verlag, New York.

FISHWICK, P.A., 1994, "Simulation Model design". In: *Proceedings of the 26th conference on Winter simulation*, pp. 173 - 175, Orlando, Dec.

FISHWICK, P.A., NANCE, R.E., ROTHENBERG, J., SARGENT, R.G., 1992, "Discret event simulation modeling: Directions for the '90s". In: *Proceedings of the 24th conference on Winter simulation*, pp. 773-782, Orlando, Dec.

FUSCO, A. C., 1997, "Hospital Albert Einstein: Usamos e Aprovamos o MEDMODEL®," *Boletim Informativo da Promodel*, n. 1 (Jan), São Paulo.

GABCAN, L., SANTOS, C.L.N., OLIVEIRA, M.J.F., CUNHA, G.G., LANDAU, L., 2002, "Utilização de Técnicas de Realidade Virtual na Visualização de Simulação de Atendimento em Hospital". In: *Anais do I Workshop de Realidade Virtual e Visualização Científica do LAMCE*, v. 1, Rio de Janeiro, Dec.

GARCIA, R.A., BAESLER, F.A., RODIRGUEZ, P.M., PEZO, M.B., 2003, "Urgencias Hospitalarias: Analisis del diseño y Gestion de Servicios de Emergencia Hospitalaria en Chile", In: *Theoria Universidad de Bio-Bio*, v. 12 pp. 9-20, Chillán, Chile, Dic.

GLICK, D.N., BLACKMORE C.C., ZELMAN W.N., 2000, “Extending Simulation Modeling to Activity-Based Costing for Clinical Procedures”, *Journal of Medical Systems*, v. 24, n. 2 (Fev), pp. 77-89.

GORDON, G., 1969, *System simulation*, Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall.

GROOTHUIS, S., VAN MERODE, G., HASMAN, A., 2001, “Simulation as decision tool for capacity planning”. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* v.66, pp. 139-151.

GUMIER, C., 2005, *Aplicação de modelo matemático de simulação-otimização na gestão de perda de água em sistemas de abastecimento*, Dissertação de M.Sc, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP, Brasil.

KHOSHNEVIS, B., 1994, *Discrete Systems Simulation*, New York, McGrawHill, Inc.

KRZANOWSKI, W.J., 2001, *An Introduction to Statistical Modeling*, London, Arnold.

KUBAN, A., ESRA, U., 1996, “Simulation modeling for emergency bed requirement planning”, *Annals of Operations Research*, v. 67, n.1 (Dec), pp. 183-210.

LAW, A.M., KELTON, D., 1991, *Simulation Modeling And Analysis*, New York, McGraw-Hill, Inc.

- LOIBEL, S., 2004, *Inferência e Indicadores de Viabilidade para Modelos Estocásticos de Crescimento de Populações*, Tese de D.Sc., Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Campinas, SP, Brasil.
- MIRO, O., SANCHEZ, M., ESPINOSA, G., COLL-VINENT, B., BRAGULAT, E., MILLA, J., 2003, “Analysis of patient flow in the emergency department and the effect of extensive reorganisation”, *Emergency Medicine Journal*, v.20, pp.143-148.
- NAYLOR, T.H., 1971, *Técnicas de Simulação em Computadores*, 1 ed., São Paulo, Ed USP.
- ODHABI, H., PAUL, R., MACREDIE, R., 1998, “Developing and graphical user interface for discrete event simulation”, In. *Proceedings of the 30th Conference on Winter Simulation*, pp. 429-436, Washington, D.C., Dec.
- OLIVEIRA, G.M., MOCCELLIN, J.V., 2003, *Simulação computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento*, Dissertação de M.Sc., Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, SP, Brasil
- PALLIN, A., KITTELL, R., 1992, “Mercy Hospital: Simulation techniques for ER processes”, *Industrial Engineering*, v.24, n.2 (feb), pp. 35-37.

PI-CHU, LIN, JIN-LIAN, WANG, SU-YU, CHANG, FU-MEI, YANG., 2005, “Effectiveness of a discharge-planning pilot program for orthopedic patients in Taiwan”. *International Journal of Nursing Studies*, v.42, pp. 723-731.

PIDD, M., 1992, *Computer simulation in management science*, 3 ed, New York , John Wiley & Sons.

PROMODEL CORPORATION, 2001, “Medmodel® User’s Guide”, Promodel®.

RAY, J.P., 1993, “Activity cycle diagrams and the three-phase method”, In: *Proceedings of the 25th Conference on Winter Simulation*, pp. 123 – 131, Los Angeles, Dec.

SARGENT, R.G., 2000, “Verification, validation, and accreditation of simulation models”, In: *Proceedings of the 32nd conference on Winter simulation*, pp. 50 – 59, Orlando, Dec.

SCHEINERMAN, E.R., 1996, *Invitation to Dynamical Systems*, 1 ed., New Jersey, Prentice Hall.

SCHRUBEN, L.W., 1992, “Graphical model structures for discrete event simulation”, In: *Proceedings of the 24th conference on Winter simulation*, pp. 241-245, Orlando, Dec.

- SHIMATONIS, K.S., 1983, “A simulation model for medical organizations: Application to a cardiological outpatient department”, *Biomedical Engineering*, v.17, n.5 (Sep), pp. 8-11.
- SHIMIZU, T., 1975, *Simulação em computação digital*, 1ed, São Paulo, Edgard Blucher.
- TRIOLA, F.M., 2005, *Introdução à Estatística*, 9 Ed, Rio de Janeiro, LTC editorial.
- VILLAMIZAR, J.R., COELLI, F.C., ALMEIDA, R.M.V.R., PEREIRA, W.C., 2006, “Modelagem Computacional de uma Clínica de Fisioterapia” In: *Anais do CBEB'2006 - XX Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica*, p.677-680, São Pedro-Brasil, Out.
- VINCENT, S., 1998, “Imput data analysis”: In: J. BANKS (eds), *Handbook of simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice*, chapter 3, New York, John Wiley & Sons
- WILCOX, R.R., 1997, *Introduction to Robust Estimation and Hypothesis Testing*, 1ed., San Diego, Academic Press.

Apêndice 1.- Entrevistas com o Profissional

Perguntas a Fisioterapeutas e Auxiliares administrativos

Entrevista Tipo 1, com o Profissional

1 Tem dados estatísticos de atendimento (diários ou mensais) de períodos passados?
Não () Sim ()

2 Quantas salas utiliza por cada serviço?

- Fisioneurologia

Número____, Qua(l/is):

- RPG

Número____, Qua(l/is):

- Pilates

Número____, Qua(l/is):

- Traumato-ortopedia

Número____, Qua(l/is):

- Ultra-som

Número____, Qua(l/is):

- Cardio-respiratoria

Número____, Qua(l/is):

- Acupuntura

Número____, Qua(l/is):

3 Além dos anteriores há outros serviços por descrever?

Não () Sim () Qual?:

4 Que tratamentos ou serviços são mais freqüentes?

Fisioneurologia (), RPG (), Pilates (), Traumato-ortopedia (), Ultra-som(), Cardio-respiratoria (),
Acupuntura ()

5 Qual é o Tempo médio de permanência de pacientes na clínica?

Tempo ____ (min)

6 Chegam pacientes de cadeira de rodas?, em que porcentagem?

Não () Sim () %____

7 Tem registros de planos de tratamento do paciente?

Não () Sim ()

8 O software da clínica registra tempos de atendimento das terapias?

Não () Sim ()

- 9 Qual é o tempo de atendimento médio de cada sala em minutos?. E unidades e capacidade das localizações?

Localizações Clínica Fisio-Barra				
Nome	Descrição	Unidades	Capacidade	Tempos(min)
SI_Vest1	Vestiário			
SI_Vest1.1	homens			
SI_Vest1.2	Mulheres			
SI_Ultsom1	Ultra-som			
SI_Ultsom1.1	Box1			
SI_Ultsom1.2	Box2			
SI_Ultsom1.3	Box3			
Entrada	Entrada			
Saida	Saída			
SI_esp	Sala de Espera			
Alta	Computador 0			
Exam_table1	Cinecioterapia			
SI_reha	NeuroFisioterapia			
SI_cardio	CardioTerapia			
SI_cardio.1	Esteira 1			
SI_cardio.2	Esteira 2			
Alta1	Computador 1			
SI_mecano	Mecanoterapia			
SI_mecano.1	Mecano1			
SI_mecano.2	Mecano2			
Campos	Campos			
Campos.1	Piscina			
Campos.2	Grama			
Campos.3	Areia			
Trauma_orto	Traumato-Ortototerapia			
Pilates	Pilates			
Recep	Recepção			
Sala_estudo	Sala de Estudos			
Sala_Acup	Acupuntura			

- 10 Como identificam o paciente dentro da clínica?
Código (), Nome (), outros () _____

Entrevistado _____, Assinatura _____

Responsavel _____, Assinatura _____,
Data _____

Perguntas a Fisioterapeutas e Auxiliares administrativos

Entrevista Tipo 2, com o Profissional

- 1 O numero de recusos por turno
Turno Fisioterapeutas Acadêmicos
Manha
Tarde
Noite
- 2 Fora do grupo de estudo existe atividade acadêmica orientada?
- 3 O funcionamento da clínica é o mesmo independente da época do ano?
- 4 São mantidos o mesmo número de fisioterapeutas e acadêmicos ao longo do ano?
- 5 Quando o fisioterapeuta faz avaliação de um novo paciente o acadêmico não é orientado, então que conduta de tratamento segue?
- 6 O funcionamento da conduta fisioterápica no geral da clínica Fisio-Barra é semelhante ao funcionamento de outras clínicas privadas ou do estado?
- 7 O cliente avalia o serviço da clínica
- 8 A clínica está perto da capacidade diária total de atendimento?
- 9 Que espera de um estudo de otimização para serviços de saúde?

Observações

Entrevistado _____, Assinatura _____

Responsavel _____, Assinatura _____, Data _____

Apêndice 2.- Coleta de dados

TEMPOS DE ATENDIMENTO E DESTINOS**Localização:****Data:**

No. Pac	Nome Paciente	Serviço Fisioterápico	Patologia	Hora entrada (HH:MM:SS)	Hora Saída (HH:MM:SS)	Sala de Destino
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						

Apêndice 3.- Coleta de dados

PLANILHA DE ATENDIMENTO DIARIORelatório gerado pelo *software* da clínica**Lista de Presença - 24/05/2006**

	Paciente Observações	Chegada	Saída	Tempo de Permanência	Foi Atendido	
1-	Adriana Pressburger Dr.Humberto Portugal -3110	08:04	09:56	01:52	Sim - Evolução	
2-	Alessandra Valle da Dra.Carla/Pilates Silva - 4487	18:47	20:00	01:13	Não	
3-	Ana Maria Monica Pilates/Dra.Ana P Machado de Oliveira 4721	09:01	10:32	01:31	Não	
4-	Anderson Miguel Fern.L./ Neuro Martins - 4649	14:12	15:09	00:57	Sim - Evolução	Dra.
5-	André de Brito Dr.Mauricio/Futebol Guimarães - 4644	08:13	11:47	03:34	Sim - Evolução	
6-	Antonio Carlos Rizzo 4001	08:09	09:56	01:47	Não	Dr.Luis
7-	Aparício Meneses - Pilates/Dra.Ana P 3781	11:16	12:42	01:26	Não	
8-	Bernard Uchôa Cavalcanti de Vasconcelos - 4640	08:49	11:04	02:15	Não	Dra.Lilian
9-	Eduardo Kunde F./ Guedes da Luz - 4239	13:17	15:15	01:58	Sim - Evolução	Dr. Fabio Traumato
10-	Elias Kasser Elias Dib Cardio/Dr.Fabio	08:01	10:30	02:29	Sim - Evolução	