

Agradecimentos

Agradeço ao Senhor Professor Doutor Pedro Mendes pela ajuda e orientação prestadas ao longo desta tese.

Agradeço ainda ao pessoal médico da UCI, que serve de caso de estudo a esta tese, pela sua pronta disponibilidade e cooperação, mas que por motivos éticos permanecerão anónimos. A eles o meu obrigado.

Por último deixo uma palavra de apreço aos meus familiares e amigos.

Índice geral

Resumo	3
Abstract	4
Índice de Matérias	5
Índice de Figuras	7
Índice de Tabelas	9
Referências bibliográficas	93
Anexo A	96
Anexo B	97
Anexo C	103

Resumo

Uma Unidade de Cuidados Intensivos (UCI) de um grande hospital de Lisboa não tem capacidade de resposta face à procura experimentada. No cerne do problema está a incapacidade da responsável da UCI em satisfazer simultaneamente as necessidades dos pacientes e as exigências da Administração do hospital. Para a Administração, a fonte do problema está na política de altas da responsável da UCI, que desde há longos anos vem mantendo os pacientes internados mais tempo que o clinicamente necessário. Na perspectiva da responsável da UCI, este procedimento é absolutamente necessário para evitar a elevada taxa de pedidos de reinternamento do passado, observada quando os pacientes transitavam da UCI para as enfermarias gerais.

Nesta tese propõe-se a construção de um simulador de “voo” de gestão para unidades de cuidados intensivos, usando como metodologia base Dinâmica de Sistemas. Através do processo de modelação espera-se conseguir compreender como a estrutura do sistema dá origem ao comportamento problemático observado. Exploram-se algumas possíveis soluções, como seja a introdução de uma Unidade de Cuidados Intermédios.

As conclusões principais são que a UCI se encontra mal dimensionada face à exigência das operações dentro do hospital, e que a introdução de uma Unidade de Cuidados Intermédios é a única solução que permite simultaneamente diminuir os conflitos e aumentar a motivação, permitindo também que uma diminuição no tempo médio de permanência não venha forçosamente acompanhada de um aumento na taxa de pedidos de reinternamento.

Palavras-chave: Dinâmica de sistemas, simulador de “voo” de gestão, Simulação, Cuidados críticos.

Abstract

The Intensive Care Unit (ICU) of a major Lisbon hospital cannot cope with hospital's demand. At the core of the problem is ICU's director inability to simultaneously satisfy patient needs and hospital Administration service level demands. For the Administration, the source of the problem is the patient discharge policy of the ICU's director, which keeps patients hospitalized at ICU longer than what is clinically needed. In ICU's director perspective, this procedure is absolutely necessary to avoid the high readmission request rates of the past, observed when the patients where in transition between the ICU and the general wards.

In this thesis we propose the development of a management flight simulator for intensive care units, based on System Dynamics methodology. Through this process we expect to be able to understand how the problematic behavior originates from the system internal structure. We also explore some possible solutions, such as the introduction of a High Dependency Care Unit.

As main conclusions we found out the ICU is insufficiently dimensioned given the hospital daily operation characteristics, and the introduction of a High Dependency Care Unit is the only solution simultaneously able to lower the conflicts and raise the motivation, allowing, as well, for a lower average length of stay without causing an increase in readmission request rates.

Key words: System Dynamics, management flight simulator, simulation, critical care.

Índice de Matérias

1.	Introdução	9
1.1.	Definição do problema	9
1.2.	Objectivos	10
1.3.	Sobre cuidados críticos	11
1.3.1.	Definição de Medicina Intensiva e Cuidados Críticos	11
1.3.2.	Breve história	11
2.	Revisão bibliográfica	12
2.1.	Introdução	12
2.2.	Definição de Sistema	13
2.3.	Definição de Pensamento Sistémico	13
2.4.	Aplicações de Dinâmica de Sistemas à gestão de unidades hospitalares	14
2.5.	Convenções de representação	15
2.5.1.	Diagramas de ciclo causal (DCC)	15
2.5.2.	Diagramas de níveis e fluxos	17
2.6.	Arquétipos de Senge	18
2.7.	Recurso a regressões lineares multivariadas	21
3.	Metodologia	22
3.1.	Metodologia adoptada	22
3.2.	Metodologias alternativas	25
4.	Modelação	26
4.1.	Definição do problema em linguagem corrente	26
4.2.	Definição do problema recorrendo a um Diagrama de Ciclo Causal	26
4.3.	Definição dos objectivos da simulação	31
4.4.	Definição da fronteira do modelo de simulação	33
4.5.	Definição dos processos em linguagem corrente e sua representação em linguagem de níveis e fluxos	35
4.6.	Elaboração de um modelo matemático	37
4.6.1.	Modelo contínuo	37
4.6.2.	Submodelo discreto	53

4.7.	Calibração para o caso de estudo em mãos	56
4.7.1.	Modelo contínuo	56
4.7.2.	Submodelo discreto.....	58
4.7.3.	Regressões lineares.....	60
4.8.	Construção de um interface para o utilizador	62
5.	Resultados	74
5.1.	Resposta aos objectivos da simulação	74
5.2.	Exploração do simulador.....	78
6.	Teste	83
6.1.	Qualidade da utilização dos resultados do submodelo discreto	83
6.2.	Sensibilidade na calibração do submodelo discreto	86
7.	Conclusões.....	87

Índice de Figuras

Figura 2 – 1: Influência positiva	15
Figura 2 – 2: Influência negativa	16
Figura 2 – 3: Influência com atraso	16
Figura 2 – 4: Relação que não faz parte de nenhum ciclo	16
Figura 2 – 5: Ciclos	17
Figura 2 – 6: Objectos para elaborar diagramas de níveis e fluxos	17
Figura 2 – 7: Setas ligando variáveis	18
Figura 2 – 8: Nível com dois fluxos	18
Figura 2 – 9: Arquétipo <i>Eroding Goals</i>	19
Figura 2 – 10: Arquétipo <i>Accidental Adversaries</i>	20
Figura 2 – 11: Arquétipo <i>Shifting the Burden</i>	21
Figura 4 – 1: Necessidades dos pacientes e exigências da Administração	27
Figura 4 – 2: Duas soluções: uma unidade de cuidados intermédios ou mais recursos para a UCI	28
Figura 4 – 3: Impacto da Diferença para as necessidades dos pacientes na Diferença para as exigências da Administração do hospital	29
Figura 4 – 4: Conflitos e Motivação	30
Figura 4 – 5: Representação da fronteira do modelo	33
Figura 4 – 6: O caminho dos pacientes até à UCI	35
Figura 4 – 7: Deixando a UCI	36
Figura 4 – 8: Separação de pedidos urgentes por tipo	37
Figura 4 – 9: Modelação do processo com todas as variáveis	38
Figura 4 – 10: Variável “Disponibilidade para receber electivos”	44
Figura 4 – 11: Desvio às necessidades dos pacientes	45
Figura 4 – 12: Desvio às exigências da Administração	47
Figura 4 – 13: Abordagem 1 para definição da Taxa de pedidos de reinternamento	48
Figura 4 – 14: Taxa de pedidos de reinternamento	48
Figura 4 – 15: Taxa de mortalidade	49
Figura 4 – 16: Motivação e conflitos	50
Figura 4 – 17: Fluxograma do processo	53
Figura 4 – 18: Taxa de pedidos de reinternamento em função do tempo de permanência	57
Figura 4 – 19: Pedidos urgentes	62
Figura 4 – 20: Interface de input e output para as variáveis: “Taxa de abandono da fila de espera”, “Taxa de rejeição de pedidos urgentes”, “Taxa de ocupação média”, “Taxa mortalidade UCI”	63
Figura 4 – 21: Representação final para Taxa de abandono da fila de espera	64
Figura 4 – 22: Representação final para Taxa de rejeição de pedidos urgentes	64
Figura 4 – 23: Representação final para Taxa de ocupação média	65
Figura 4 – 24: Representação final para Taxa de mortalidade UCI	65
Figura 4 – 25: Representação final para Taxa de pedidos de reinternamento	66
Figura 4 – 26: Representação do <i>output</i> para “Motivação” e “Conflitos”	67
Figura 4 – 27: “Diferença para as necessidades dos pacientes” <i>versus</i> “Diferença para as exigências da Administração”	68
Figura 4 – 28: Representação do <i>output</i> para “Tempo de espera”	68
Figura 4 – 29: <i>Output</i> para Admissões	68
Figura 4 – 30: Admissões	69
Figura 4 – 31: Variação nas admissões	70
Figura 4 – 32: <i>Input</i> para pedidos	71
Figura 4 – 33: Pedidos	71
Figura 4 – 34: Variáveis de decisão	72
Figura 4 – 35: Input de objectivos e monitorização	72
Figura 4 – 36: Representação de objectivos	73
Figura 5 – 1: Taxas de pedidos de reinternamento máximas para verificar comportamento contra intuitivo	77

Índice de Tabelas

Tabela 4 – 1: Variáveis exógenas e excluídas	34
Tabela 4 – 2: Dados disponíveis a partir do software de gestão da UCI	58
Tabela 4 – 3: Dados estimados pela responsável da UCI	59
Tabela 4 – 4: Estimação de pedidos	59
Tabela 4 – 5: Limites das variáveis de calibração	59
Tabela 4 – 6: Valores calibrados para os parâmetros	60
Tabela 4 – 7: Resultados do submodelo discreto para os valores de calibração	60
Tabela 4 – 8: Simulações	61
Tabela 5 – 1: Resultados sobre o dimensionamento da UCI	74
Tabela 5 – 2: Resultados sobre o dimensionamento da UCI, com 6 camas	75
Tabela 5 – 3: Resultados simulação 1	78
Tabela 5 – 4: Resultados simulação 2	79
Tabela 5 – 5: Resultados simulação 3	79
Tabela 5 – 6: Resultados simulação 4	79
Tabela 5 – 7: Resultados simulação 5	80
Tabela 5 – 8: Resultados simulação 6	80
Tabela 5 – 9: Resultados simulação 7	80
Tabela 5 – 10: Resultados simulação 8	81
Tabela 5 – 11: Resultados impacto dos intermédios no cenário conservador	82
Tabela 5 – 12: Resultados Impacto dos intermédios no cenário optimista	82
Tabela 5 – 13: Resultados impacto de abrir a sexta cama	83
Tabela 6 – 1: Taxa de abandono da fila de espera	84
Tabela 6 – 2: Taxa de rejeição de pedidos urgentes	84
Tabela 6 – 3: Tempo de espera	85
Tabela 6 – 4: Taxa de ocupação média	85
Tabela 6 – 5: Resultados do teste de sensibilidade aos parâmetros “T” e “E”	86

Siglas

UCI – Unidade de Cuidados Intensivos.

DCC – Diagrama de Ciclo Causal.

RLM – Regressão Linear Multivariada.

1. Introdução

1.1. Definição do problema

Em conversa informal, a responsável de uma Unidade de Cuidados Intensivos (UCI) de um hospital de Lisboa informou que a Unidade não tem capacidade de resposta face à procura experimentada. O dilema para esta profissional de saúde consiste na impossibilidade de satisfazer simultaneamente as necessidades de internamento dos pacientes e as exigências da Administração do hospital. Esta situação arrasta-se desde a criação da Unidade, em 1994.

A responsável da Unidade mantém os pacientes internados até que o seu estado de saúde seja robusto o suficiente para suportar o nível de cuidados prestados a jusante. Isto não significa forçosamente que o nível de cuidados prestados a jusante seja mau. Significa apenas que, por razões económicas, nem todas as enfermarias do hospital dispõem do nível de equipamento, monitorização e acompanhamento médico de que a UCI dispõe. Assim sendo, os pacientes críticos são tratados na UCI e à medida que melhoram podem ser transferidos para as enfermarias gerais dos outros serviços.

Embora existam diferenças de qualidade significativas entre enfermarias gerais dentro do hospital, podemos considerar, para o problema em mãos, que apenas estão disponíveis dois níveis de cuidados dentro do hospital – a UCI e as enfermarias gerais. Isto implica uma grande descontinuidade no nível de cuidados prestados. Originalmente, era política da responsável da UCI manter os pacientes internados em UCI apenas enquanto tivessem indicação clínica para lá estar¹. Esta política foi abandonada pois cedo se observou uma inadmissível taxa de pedidos de reinternamento², já que as enfermarias gerais não são, por definição, adequadas para receber estes pacientes em transição. Logo foi substituída pela actual, que consiste em manter os pacientes internados em UCI até que o seu estado de saúde seja adequado para ser servido por uma enfermaria geral. A consequência directa desta política é o excessivo³ tempo de permanência dos pacientes em UCI. De acordo com os dados disponíveis⁴, o tempo médio de permanência actual cifra-se em 13,61 dias quando o tido como adequado rondará os 8 a 10 dias, segundo a responsável da UCI.

Note-se que a política descrita no parágrafo anterior não teria nenhum impacto significativo no sistema se este não estivesse já endemicamente em stress. Segundo Lane, Monfeldt e Rosenhead (2000), reduzir a quantidade de recursos num sistema hospitalar não tem de forçosamente implicar pior serviço, desde que a menor quantidade de recursos possa ser compensada por uma maior taxa de utilização dos mesmos, o que não é claramente o caso, pois a taxa de ocupação média da UCI já se encontra nos 91%.

¹ Os critérios sobre que pacientes servir em cada nível de cuidados encontram-se muito bem definidos. (Goldhill, 2002), (Audit Commission, 1999).

² Desconhecida. A literatura recomenda uma taxa máxima de 4%.

³ Mas aos olhos da responsável da UCI ele é absolutamente necessário para que os pacientes não venham a recair.

⁴ 1 de Janeiro de 2007 a 2 de Julho de 2008.

Dado o fluxo de pedidos de admissão observado actualmente, é diferente para a performance do sistema colocar o tempo médio de permanência em 13,61 ou em 10 dias. A má performance do sistema está patente na elevada taxa de rejeição de pedidos urgentes, estimada em 50%, e no elevado tempo de espera para os pacientes provenientes de cirurgias electivas, estimado entre 7 a 10 dias. É indiscutível que a diminuição do tempo médio de permanência conduziria, pelo menos, a melhorias nestas variáveis. Outro sintoma é a supracitada elevada taxa de ocupação média, que actualmente ronda os 91%. Da teoria das filas de espera sabe-se que quando a taxa de utilização do sistema ultrapassa os 70% o tempo de espera cresce exponencialmente (Hines *et al.*, 2003).

Dado que o sistema está em stress, a política da responsável da UCI é tida, por quase todos os agentes dentro do hospital, como a causa do problema. Embora seja claro que a sua política visa proteger os pacientes (Walker e Haslett, 2003), não é claro, pelo menos para a Administração do hospital, que ela seja absolutamente necessária, culpando-a pelo estado em que as coisas se encontram.

Note-se que a taxa de mortalidade entre os pacientes em questão é muito elevada, cerca de 25%. Não é claro se o tempo de internamento extra se traduzirá num número significativo de vidas salvas via não-recaídas. Por outro lado, aos olhos da Administração, a responsável da UCI parece ignorar que quanto maior for o tempo de permanência mais pedidos urgentes terá de rejeitar, não se sabendo a sorte destes pacientes. A responsável da UCI tem de manter este delicado balanço entre vidas salvas via não-recaídas e pedidos de admissão rejeitados. De momento, mantém-se fiel ao princípio de que uma vez admitidos na sua Unidade é sua responsabilidade garantir a optimização das hipóteses de sobrevivência destes pacientes.

Para a Administração do hospital, a solução passa pela observação estrita dos critérios de alta da UCI por parte da responsável da mesma. A responsável pela UCI pensa que a solução passará pela implementação de uma Unidade de Cuidados Intermédios, já que neste cenário ela já poderia reduzir o tempo de permanência dos pacientes para valores normais. O que parece escapar aos agentes em conflito é a possibilidade da UCI estar mal dimensionada dadas as exigências das operações dentro do hospital. Nesse caso, nenhuma das soluções acima resolverá o problema.

Neste sistema assiste-se a uma escalada no nível de conflitos e a um nível motivacional cada vez mais baixo para o pessoal da UCI. A responsável pela Unidade precisa de uma ferramenta para mostrar que a fonte do problema não está na sua política de altas.

1.2. Objectivos

O objectivo desta tese consiste em propor um modelo matemático que sirva de suporte a um simulador de gestão para unidades de cuidados intensivos. Após a apresentação do simulador, este será aplicado ao caso de estudo em mãos procurando a resposta para esta questão fundamental – “Estará a UCI mal dimensionada face às exigências das operações dentro do hospital?”. Complementarmente, o simulador será usado para testar que valores das variáveis de decisão no sistema permitem atingir os objectivos que se quiserem estabelecer.

A metodologia de Dinâmica de Sistemas presta-se bem à abordagem do problema em mãos. Espera-se conseguir produzir um Diagrama de Ciclo Causal que sirva de veículo de comunicação entre os agentes em conflito dentro do hospital. Serão exploradas as fontes do problema e os mecanismos que despoletam os conflitos dentro do hospital. A programação por níveis e fluxos servirá de espinha dorsal na elaboração do modelo matemático de suporte ao simulador. Dada a natureza estocástica de alguns fenómenos no sistema, como a chegada de pacientes ou a altas, um submodelo de simulação por eventos discretos também será formulado, sendo os seus resultados incluídos no modelo matemático principal.

1.3. Sobre cuidados críticos

1.3.1. Definição de Medicina Intensiva e Cuidados Críticos

A Medicina Intensiva é uma área multidisciplinar e diferenciada das Ciências Médicas que aborda especificamente a prevenção, diagnóstico e tratamento de situações de doença aguda potencialmente reversível, em doentes que apresentam falência de uma ou mais funções vitais, eminentes ou estabelecidas (Conselho Nacional Executivo da Ordem dos Médicos, Março 2007).

Os serviços da Medicina Intensiva, designados por cuidados críticos, destinam-se, idealmente, aos pacientes mais críticos de um hospital que apresentem potencialmente condições de recuperação. Os cuidados críticos incluem os cuidados intensivos e os cuidados intermédios. Os cuidados intensivos definem-se como o nível mais elevado de cuidados que os pacientes necessitam, quando duas ou mais funções vitais falham. Pacientes a necessitar de cuidados intensivos geralmente sofrem de instabilidade hemodinâmica, insuficiência cardíaca e/ou respiratória e/ou renal, e frequentemente a acumulação de efeitos causados por falência multi-órgão. Os cuidados intermédios definem-se com um nível de cuidados intermédio entre os cuidados intensivos e o nível de cuidados prestados numa enfermaria geral. Destinam-se a pacientes que já não necessitam de vigilância médica permanente, mas que ainda não se encontram hemodinamicamente estáveis para serem transferidos para uma enfermaria geral, e que necessitam de monitorização contínua (Audit Commission, 1999).

1.3.2. Breve história

Os cuidados críticos nasceram durante a epidemia de poliomielite em Copenhaga no ano de 1952. Esta epidemia foi a mais severa na história da cidade por diversas razões. O número de casos de poliomielite com diagnóstico confirmado, requerendo admissão e tratamento em hospital foi o mais elevado de sempre. Embora a maioria dos pacientes tivesse menos de 15 anos de idade, a epidemia de 1952 caracterizou-se por uma relativamente forte incidência na população adulta. A mortalidade rondava os 90% nos pacientes com uma forma de poliomielite chamada de poliomielite bulbar. Com apenas sete ventiladores de pressão negativa (“pulmões de ferro”) disponíveis, o hospital não estava suficientemente equipado para lidar com uma emergência de tais proporções.

O médico anestesista Bjørn Ibsen, a trabalhar na altura no Blegdamshospital, que servia de centro de tratamento contra a poliomielite na área metropolitana de Copenhaga, colocou a hipótese, após a observação de quatro pacientes na morgue, que a elevada concentração de CO₂ no plasma, que levava conseqüentemente à morte, não era causada pela doença em si mas sim como conseqüência de uma ventilação deficiente. Como resultado, os pacientes passaram a ser ventilados manualmente após traqueotomia, e a mortalidade caiu para 15% dentro de poucas semanas. Pouco depois, a primeira UCI do mundo era estabelecida nesse hospital (Wackers, 1994) (Audit Commission, 1999).

2. Revisão bibliográfica

2.1. Introdução

Segundo Sterman (2000), a maior certeza dos tempos modernos é a mudança. As aceleradas mudanças na tecnologia, população e actividade económica transformam o nosso mundo, desde o prosaico efeito das tecnologias de informação sobre a maneira como utilizamos o telefone até ao profundo efeito dos gases de efeito de estufas sobre o clima global. Algumas das mudanças são maravilhosas, mas outras definham o planeta, empobrecem o espírito humano e ameaçam a nossa sobrevivência. Todas desafiam as instituições, práticas e crenças tradicionais. De notar que a maioria das mudanças com que nos debatemos para compreender são conseqüência de actos intencionais e não intencionais da própria humanidade. Com demasiada frequência, esforços bem-intencionados para lidar com problemas prementes levam a aversão à mudança. Quando isto acontece, as políticas são atrasadas, diluídas ou derrotadas por reacções imprevisíveis por parte das pessoas ou do ambiente. Muitas vezes, o nosso melhor esforço para resolver um problema só o vem agravar.

Os efeitos desta acelerada mudança não são novos. Henry Adams⁵, um perspicaz observador das grandes mudanças trazidas pela revolução industrial, formulou a Lei da Aceleração de forma a descrever o crescimento exponencial da tecnologia, produção e população, que tornou o legado colonial americano que herdara irrelevante. Um fluxo constante de filósofos, cientistas e gurus da gestão têm feito ecoar as ideias de Adams, lamentando a aceleração e advogando mudanças profundas na maneira de pensar e agir. Muitos defendem o desenvolvimento do Pensamento Sistémico – a habilidade de entender o mundo como um sistema complexo, no qual nós compreendemos a impossibilidade de agir isoladamente, e que tudo se encontra interligado. Discute-se a hipótese de que se as pessoas tivessem uma visão holística do mundo, elas actuariam em consonância com os interesses a longo prazo do sistema como um todo, e evitariam a aversão à mudança. De facto, para alguns, o desenvolvimento do Pensamento Sistémico é crucial para a sobrevivência da humanidade.

⁵ Sterman citando (Adams, 1918).

O desafio que enfrentamos consiste em saber como passar de generalizações sobre Pensamento Sistémico para ferramentas e processos que nos ajudem a melhor compreender a complexidade, delinear políticas operacionais, e conduzir a mudança em sistemas desde o mais pequeno negócio até ao planeta como um todo. Contudo, aprender sobre sistemas complexos quando se vive neles é difícil. Somos passageiros num avião, e não nos cabe a nós apenas pilotá-lo, mas também redesenhá-lo.

A Dinâmica de Sistemas é uma metodologia que visa potenciar a aprendizagem em sistemas complexos. Tal como as companhias aéreas usam simuladores para desenvolver as capacidades dos seus pilotos, a Dinâmica de Sistemas é, em parte, uma metodologia para desenvolver simuladores de gestão, sendo muitas vezes modelos de simulação computacional, que nos ajudam a aprender sobre dinâmica complexa, compreender fontes de aversão à mudança, e desenhar políticas mais eficazes.

Mas aprender sobre sistemas dinâmicos complexos requer mais do que ferramentas técnicas para criar modelos matemáticos. A Dinâmica de Sistemas é fundamentalmente multidisciplinar. Como estamos preocupados com o comportamento de sistemas complexos, a Dinâmica de Sistemas assenta na teoria de dinâmicas não lineares e controlo de *feedback* desenvolvido nas matemáticas, física e engenharia. A aplicação destas ferramentas ao comportamento humano e a sistemas físicos e técnicos faz com que a Dinâmica de Sistemas sorva da psicologia cognitiva e social, economia e outras ciências sociais.

2.2. Definição de Sistema

Segundo Forrester (1968), “Sistema” é uma colecção de partes que operam em conjunto para um objectivo comum. Por exemplo, um automóvel é um sistema de componentes que quando juntas proporcionam transporte. As pessoas também fazem parte de sistemas quer seja numa família, quer seja como empregadas de um armazém.

Estamos completamente emersos em sistemas. Na pré-história, os sistemas naturais dominavam o nosso mundo e as suas características tidas como divinas. No emergir da sociedade industrial o homem começou a compreender os sistemas à sua volta, como sejam o ciclo económico, instabilidade política, crises financeiras ou a flutuabilidade dos preços. Com a sua complexidade crescente, emergiram disciplinas dedicadas a subsistemas como seja a economia, a psicologia, a medicina, a religião e outras. O que parece faltar é uma disciplina que identifique e expresse um corpo de princípios universais que expliquem os sucessos e insucessos dos sistemas dos quais fazemos parte.

2.3. Definição de Pensamento Sistémico

Não existe acordo na literatura sobre o que constitui o Pensamento Sistémico. Segundo Richardson (1994), a ideia de pensar de forma sistémica tem uma longa história em diversos campos e o termo “Pensamento Sistémico” só começou a ser usado na literatura de Dinâmica de Sistemas, no fim da década de 1980.

Stave e Hopper (2007) fazem uma revisão da literatura e concluem que o Pensador Sistémico apresenta cinco características: tem uma visão holística do problema, pensa no “todo” e não nas “partes”; reconhece e procura compreender interdependências e *feedback*; compreende o conceito de comportamento dinâmico; pensa em termos do sistema como a causa do seu comportamento; e compreende como a estrutura desencadeia o comportamento do sistema.

2.4. Aplicações de Dinâmica de Sistemas à gestão de unidades hospitalares

O modelo actual de financiamento, “à peça”, dos hospitais na generalidade dos países ocidentais, pressiona a que a aplicação de Dinâmica de Sistemas, na área da saúde, seja feita quase exclusivamente numa óptica de gestão de custos (Walker e Haslett, 2003). As administrações hospitalares são pressionadas a tratar mais pacientes a um menor custo contudo sem comprometer a qualidade (Wolstenholme, Monk e McKelvey, 2007). Maus princípios de gestão levam as administrações a verem os seus recursos humanos como custos e não como activos, sendo por aí que começam os cortes – despedimentos, menos regalias e bónus (Amin e Wahba, 2003). Conflitos (Baugh e Walters, 1994), motivação (Holmstrom e Elf, 2004) e *burnout* (Koshio e Akiyama, 2008) de pessoal hospitalar também são temas sobejamente abordados na literatura.

Segundo Sedehi (2002), a construção de simuladores de gestão para unidades hospitalares tem dois objectivos principais: entender melhor a dinâmica do processo, enquanto se constroi o modelo dinâmico; e avaliar antecipadamente os efeitos das decisões através da utilização do simulador. Os simuladores de gestão na área da saúde servem ou para testar macropolíticas ou para estudar problemas dentro de hospitais ou unidades hospitalares.

Não encontramos, na literatura de referência, nenhum artigo sobre um simulador de gestão para uma unidade de cuidados intensivos, sendo que o mais próximo é o artigo de Lane, Monefeldt e Rosenhead (2000) que descreve a modelação de uma Unidade de Urgências⁶. O objectivo desse estudo centrou-se na definição dos factores que contribuem para o atraso na passagem dos doentes do serviço de urgência aos serviços de internamento. Embora os autores reconheçam que alguns atrasos são inevitáveis, podem ser conseguidas melhorias através de um aumento selectivo dos recursos na Unidade de Urgências ou com ela relacionados. Concluem também que a redução do número de camas não resulta em maiores tempos de espera para admissão urgente, resulta sim numa crescente taxa de cancelamento de admissões conducentes a cirurgias electivas.

O estudo de Lane, Monefeldt e Rosenhead (2000) exhibe algumas semelhanças, mas também algumas diferenças fundamentais em relação ao trabalho desta tese. Neste artigo existe competição entre pacientes urgentes e pacientes electivos pela utilização de recursos escassos. Os pacientes urgentes que são admitidos nos serviços de internamento através da Unidade de Urgências vão “roubar” camas a pacientes que tinham cirurgias electivas programadas, conduzindo ao seu cancelamento. A fluidez do serviço está estrangulada pelo número de recursos humanos disponível. Embora a taxa de ocupação das camas seja muito elevada (de 92%) face à recomendada (de 80-85%) pela British Association of Accident and Emergency Medicine (Royal College of Surgeons of

⁶ “Accident & Emergency Unit”, no original.

England, 1993), são os médicos que, por estarem demasiadamente ocupados, levam a que doentes ainda não tratados ocupem camas que de outra forma poderiam estar livres para receber outros pacientes. No caso de estudo de Lane, Monfeldt e Rosenhead (2000), a procura tem um comportamento sinusoidal de frequência diária. Embora os dados exactos não sejam disponibilizados, o número médio de chegada de pacientes por hora é aproximadamente 8, e a diferença entre picos é cerca de 15!

No problema desta tese, existe também competição entre pacientes urgentes e pacientes electivos. Esta competição leva a que cerca de metade dos pedidos para admissão urgentes sejam rejeitados, e é frequente o adiamento de cirurgias electivas devido ao facto de a vaga previamente disponibilizada na UCI ter sido, entretanto, ocupada por um paciente urgente. Ao contrário do que se passa no caso de estudo de Lane, Monfeldt e Rosenhead (2000), os recursos humanos não estrangulam de forma alguma o acesso aos cuidados médicos. A disponibilidade de pessoal médico na UCI não condiciona o fluxo de admissões à Unidade. Ao invés disso, são as camas o recurso determinante para o número de pacientes que podem ser tratados. No nosso caso de estudo, a procura é tida como constante, embora se reconheça que existe grande variabilidade na procura.

Um dos desafios da modelação nesta tese consistiu em restringir as admissões máximas à UCI de acordo com o número de camas. Por exemplo, não faz sentido ter 6 pacientes internados num dado instante se apenas 5 camas estiverem instaladas na Unidade. O artigo de Lane, Monfeldt e Rosenhead (2000) peca por não apresentar a lista completa de equações (ou mesmo todo o modelo). Embora exista indicação de como modelar a chegada de pacientes urgentes e electivos, não existe indicação de como se modelou a rejeição das admissões. Um outro artigo (Lane, Monfeldt e Husemann, 2003) reconhece as fragilidades da modelação das admissões.

No nosso estudo, a Administração do hospital não tem quaisquer métricas de performance definidas para a UCI. Por isso, o artigo de Lane, Monfeldt e Rosenhead (2000) tem ainda interesse por definir as seguintes métricas para a sua Unidade de Urgências – tempo decorrido até primeiro atendimento médico na Unidade de Urgências, tempo de espera total, taxa média de cancelamentos electivos, taxa média de ocupação de camas, e taxa média de ocupação do pessoal médico. São aproveitados alguns exemplos de métricas para a nossa modelação.

2.5. Convenções de representação

2.5.1. Diagramas de ciclo causal (DCC)

Neste capítulo faz-se claro as convenções de representação adoptadas nos DCC.

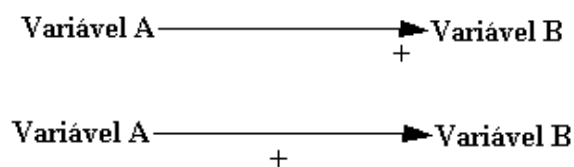


Figura 2-1: Influência positiva.

A Figura 2-1 mostra duas representações possíveis para denotar uma influência positiva entre duas variáveis. O sinal de “+” pode ser colocado quer junto à cabeça da seta, quer junto ao corpo da seta. Este tipo de influência significa que uma variação em A despoleta uma variação no mesmo sentido em B, ou seja, se A aumenta então B também aumenta, ou se A diminui então B também diminui.

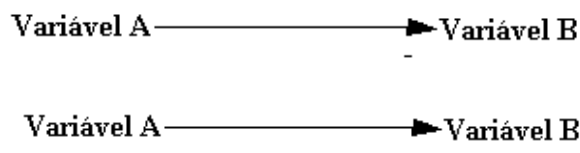


Figura 2-2: Influência negativa.

A Figura 2-2 mostra duas representações possíveis para denotar uma influência negativa entre duas variáveis. O sinal de “-” pode ser colocado quer junto à cabeça da seta, quer junto ao corpo da seta. Este tipo de influência significa que uma variação em A despoleta uma variação no sentido contrário em B, ou seja, se A aumenta então B diminui, ou se A diminui então B aumenta.

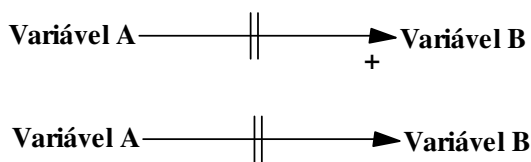


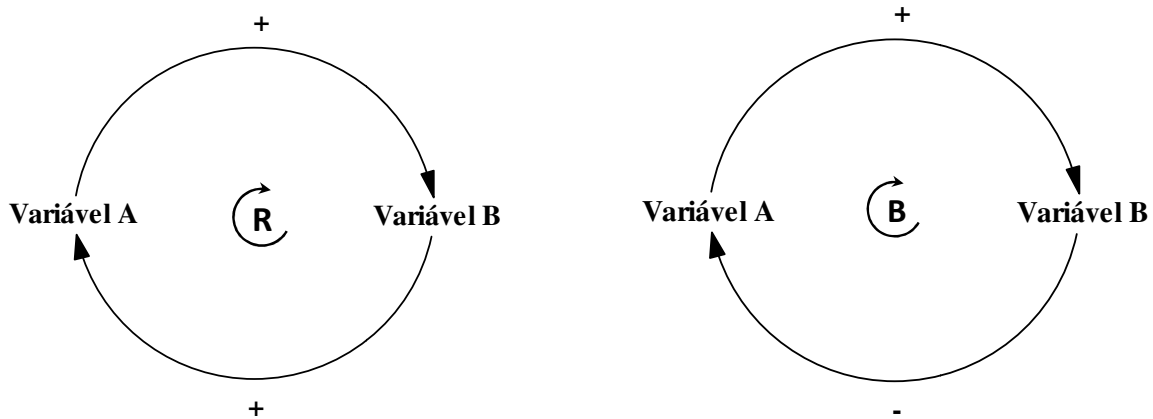
Figura 2-3: Influência com atraso.

A Figura 2-3 mostra como representar influência com atraso. A representação de cima ilustra uma influência positiva com atraso, e representação de baixo uma influência negativa com atraso. O atraso é representado pelos dois traços verticais, e não tem de forçosamente representar tempo. Pode, ao invés disso, representar algum tipo de esforço, como seja o financeiro.



Figura 2-4: Relação que não faz parte de nenhum ciclo.

A Figura 2-4 mostra uma relação de influência a tracejado. Uma seta a tracejado significa que a relação de influência em causa não pertence a nenhum ciclo. Optou-se por este tipo de representação por uma questão de clareza na leitura dos DCC.



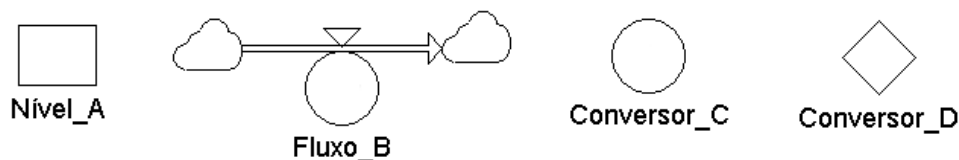
A Figura 2-5 mostra como representar ciclos de reforço e de balanço. Um ciclo tem de ter no mínimo duas variáveis e duas relações de influência.

O ciclo da esquerda é um exemplo de um ciclo de reforço e representa-se pela letra “R” maiúscula, dentro de uma seta circular. Se A aumentar então B também aumenta, provocando por sua vez um aumento em A, sendo deste modo o *feedback* positivo realimentado. Outro comportamento possível seria: uma diminuição em A leva a uma diminuição em B, que por sua vez conduz a nova diminuição em A, realimentando o ciclo de *feedback* positivo.

O ciclo da direita é um exemplo de um ciclo de balanço e representa-se pela letra “B” maiúscula, dentro de uma seta circular. Se A aumentar então B também aumenta, mas um aumento de B leva a uma inibição de A, compensando o aumento inicial de A, balançando o ciclo. Outro comportamento possível seria: uma diminuição de A leva a uma diminuição de B, que por sua vez conduz ao aumento de A, contrariando a sua diminuição inicial e balançando o ciclo. Uma forma simples de verificar que um determinado ciclo é de balanço ou de reforço, consiste em contar o número de sinais “-“. Os ciclos de balanço têm um número ímpar de sinais de “-“, e os ciclos de reforço um número par.

2.5.2. Diagramas de níveis e fluxos

Neste capítulo explica-se o significado dos símbolos utilizados na construção de diagramas de níveis e fluxos e suas implicações.



Na Figura 2- apresentam-se os objectos utilizados na construção de diagramas de níveis e fluxos. Existem, essencialmente, três objectos diferentes – níveis, fluxos e conversores – sendo que em Powersim, os conversores podem ser círculos ou losangos caso sejam variáveis escritas em função de outras ou sejam variáveis independentes, respectivamente. Existem ainda setas que servem para ligar os objectos, como se pode ver na Figura 2- .

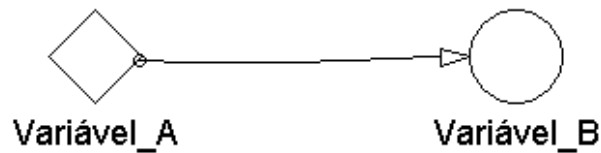


Figura 2- 7: Setas ligando variáveis.

A seta ligando as variáveis A e B significa que a variável B é função da variável A.

Os níveis e os fluxos assumem, ainda, uma relação íntima. Os fluxos ligam-se directamente aos níveis, sem serem necessárias setas, e implicam uma construção matemática rígida. Atente-se na Figura 2- .

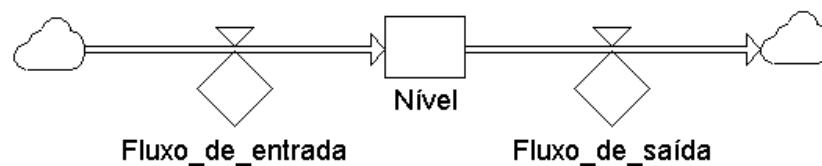


Figura 2- 8: Nível com dois fluxos.

A equação do nível fica automaticamente estabelecida como:

$$\text{Nível} = \int (\text{Fluxo de entrada} - \text{Fluxo de saída}) \times dt \quad (2.1)$$

Onde “t” é o tempo.

2.6. Arquétipos de Senge

Os arquétipos de Senge (1990) são um conjunto de representações esquemáticas de comportamentos característicos dentro de organizações. Aquando da modelação do problema, recorrendo a um diagrama de ciclo causal (DCC), falar-se-á de três arquétipos em particular – *Eroding goals*, *Accidental adversaries* e *Shifting the Burden*.

A Figura 2- mostra a representação do arquétipo *Eroding Goals*.

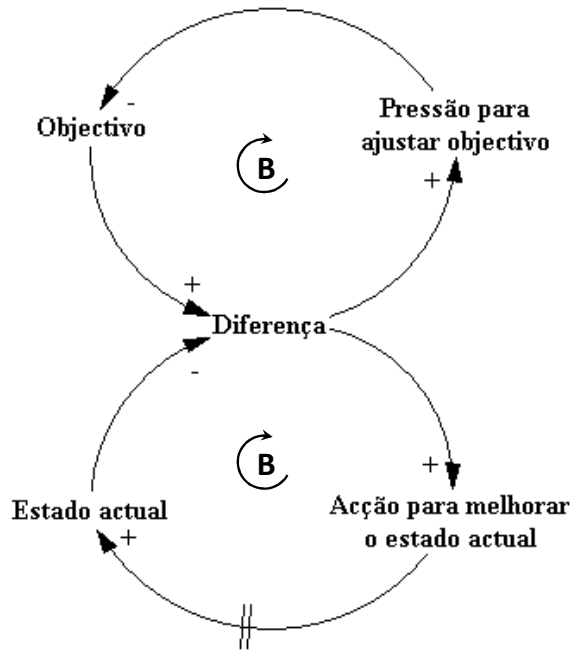


Figura 2- 9: Arquétipo *Eroding goals*.

No arquétipo *Eroding Goals* existe uma diferença entre o objectivo e o estado actual observado. A diferença é incomodativa e é possível corrigi-la de duas formas. Por um lado, pode-se exercer uma acção correctiva para melhorar o estado actual. Por outro lado, a existência da diferença pressiona o ajuste do objectivo para um nível menos exigente, de forma a eliminar a diferença. É muito mais fácil ajustar o objectivo, fazendo de conta que tudo voltou à normalidade, do que exercer a acção para melhorar o estado actual. Esta acção exige algum tipo de esforço (daí o sinal de atraso), que pode ser financeiro, ou simplesmente pode levar tempo a implementar.

A Figura 2- 10 mostra o arquétipo *Accidental adversaries*.

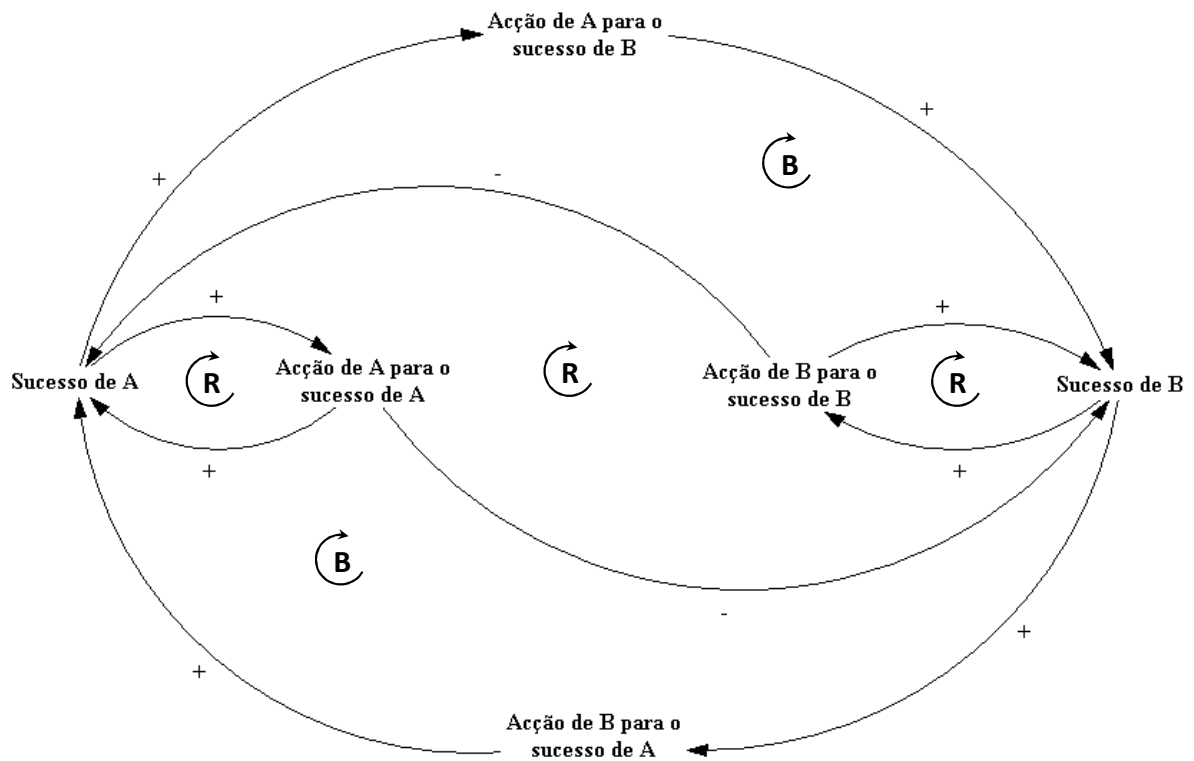


Figura 2- 10: Arquétipo Accidental adversaries.

Este arquétipo tem uma representação bem mais complexa. O agente A e o agente B procuram, cada um, atingir o seu sucesso individual – “Sucesso de A” e “Sucesso de B” – através das respectivas acções individuais – “Acção de A para o sucesso de A” e “Acção de B para o sucesso de B”. Quanto mais sucesso os agentes atingirem maior a motivação para realizarem mais a acção que conduz ao seu sucesso, estabelecendo um ciclo de reforço. Quanto maior for o sucesso de determinado agente mais tempo pode despende empreendendo o sucesso do vizinho – “Acção de B para o sucesso de A” e “Acção de A para o sucesso de B” – cria-se então um enorme ciclo de reforço. Mas as acções individuais são incompatíveis entre si, significando que cada uma delas reduz o sucesso do vizinho. Assim sendo, o grande ciclo de reforço global nunca se estabelece, ficando o sistema preso nas acções individuais dos agentes.

A Figura 2- 11 ilustra o arquétipo *Shifting the burden*.

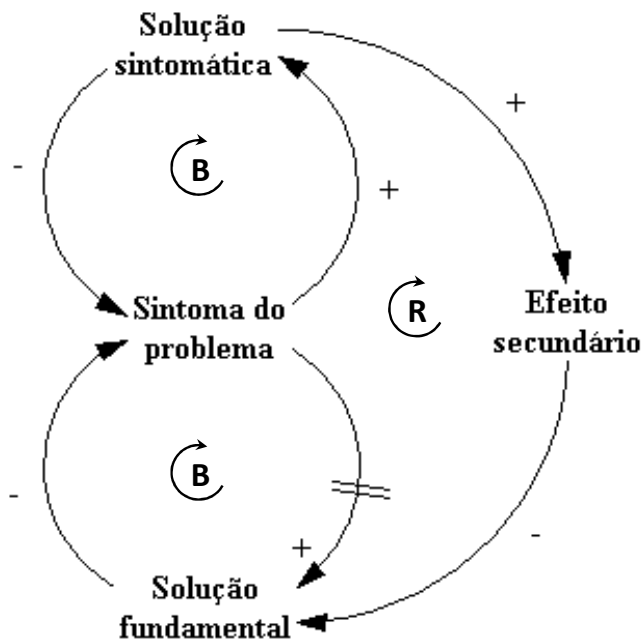


Figura 2- 11: Arquétipo Shifting the burden.

Este arquétipo ilustra a diferença entre resolver o problema e amenizar o sintoma do problema. Um determinado problema latente cria o “Sintoma do problema”, e existem duas formas de combater o sintoma. A mais simples, rápida e barata consiste em recorrer à “Solução sintomática”. O recurso a esta solução pode ter um efeito secundário indesejado que mina a prossecução de uma “Solução fundamental” para o problema. A “Solução fundamental” é a única que pode erradicar o problema, mas é preterida face à “Solução sintomática” pois exige um certo nível de esforço (daí o sinal de atraso) para se concretizar. Esse esforço pode ser financeiro, pode ser tempo, ou simplesmente pode ser “dar muito trabalho”.

2.7. Recurso a regressões lineares multivaridas

A certa altura nesta tese será necessário aplicar uma regressão linear multivariada a um conjunto de dados. O software escolhido para fazer este tratamento estatístico é o SPSS 16.0 da SPSS Inc. Para teoria sobre regressões lineares é favor consultar Hines (2003).

3. Metodologia

3.1. Metodologia adoptada

Neste capítulo é apresentada a metodologia de modelação seguida nesta tese, e comparada com metodologias alternativas.

A metodologia seguida nesta tese compreende os seguintes passos:

1. Definição do problema em linguagem corrente.
2. Definição do problema recorrendo a um Diagrama de Ciclo Causal.
3. Definição dos objectivos da simulação.
4. Definição da fronteira do modelo de simulação.
5. Definição, em linguagem corrente, dos processos e sua representação em linguagem de níveis e fluxos.
6. Elaboração de um modelo matemático.
7. Calibração para o caso de estudo em mãos.
8. Construção de um interface para o utilizador.
9. Obtenção de resultados.
10. Teste de sensibilidade.
11. Obtenção de conclusões.

1. Definição do problema em linguagem corrente

Um processo de modelação só é válido se o seu executor tiver uma boa percepção do problema em mãos. Este é o ponto de partida para todo o processo de modelação. Neste ponto o modelador deve estar atento a possíveis enviesamentos na definição do problema devido ao seu interlocutor. Se possível, o problema deverá ser descrito por mais do que uma entidade, preferencialmente em lados opostos do conflito. Após a definição do problema, o modelador deverá ter uma boa ideia de como poderá ser útil na resolução do conflito, e ser capaz de definir os objectivos da simulação.

2. Definição do problema recorrendo a um Diagrama de Ciclo Causal

Um Diagrama de Ciclo Causal (DCC) é uma ferramenta extremamente útil na comunicação de modelos mentais. A elaboração do DCC também serve como validação sobre a correcta interpretação do problema por parte do modelador. Este é um processo interactivo, onde após apresentação de uma proposta para DCC esta é melhorada pelo interlocutor até se chegar a uma representação que espelhe o modelo mental do mesmo. Após validar este ponto, o modelador tem a certeza de uma correcta percepção do problema.

3. Definição dos objectivos da simulação

O objectivo da simulação não é mais do que definir o propósito de todo o processo de modelação – “Que tipo de respostas esperamos obter com este processo?”, “O simulador terá uma utilidade meramente explicativa ou também preditiva?”. Note-se que não se trata de alinhar o

simulador com as respostas pretendidas, mas sim ter em conta na sua construção o tipo de questões que queremos ver respondidas. Por exemplo, um modelo para determinar se a quantidade de pessoal na UCI é adequada não é forçosamente o mesmo que para determinar se o número de camas instaladas é o suficiente.

4. Definição da fronteira do modelo de simulação

É necessário definir qual a realidade a representar no modelo. Efectua-se um gráfico delimitando a fronteira do modelo e ilustrando as trocas permitidas entre o modelo e o Exterior. Segundo Sterman, (Sterman, 2000), é boa prática, mas rara, a inclusão de uma tabela classificando as variáveis em endógenas, exógenas e excluídas. Será apresentada uma adaptação desta tabela, sem as variáveis endógenas, já que estas serão apresentadas mais à frente.

5. Definição, em linguagem corrente, dos processos e sua representação em linguagem de níveis e fluxos

É necessário saber “contar a história” dos processos que se pretende representar. Através de interlocutores dentro do hospital apreendem-se quais os processos dentro da fronteira do modelo. A linguagem de níveis e fluxos é um excelente auxiliar neste “contar da história”, o que permite também começar a construir o modelo matemático.

6. Elaboração de um modelo matemático

A estrutura gráfica elaborada no ponto anterior é o ponto de partida para a escrita de um modelo matemático. Nesta tese o modelo matemático é desenvolvido num ambiente de simulação contínua, recorrendo ao software Powersim da Powersim Software AS. No entanto, será necessário recorrer a um sub-modelo de simulação por eventos discretos para se conseguir escrever a relação entre as algumas variáveis. Neste ponto o software escolhido é o AweSim da Symix Systems, Inc. Vai ser ainda necessário recorrer a regressões lineares multi-variadas para utilizar os resultados deste sub-modelo. O software para análise estatística é o SPSS da SPSS Inc.

Um dos objectivos desta tese é a construção de um modelo que possa ser extrapolável para outras UCI's. O modelo matemático deve manter-se coerente para qualquer valor das variáveis representadas.

7. Calibração para o caso de estudo em mãos

É neste ponto que se aplica o modelo matemático construído ao problema em mãos. Calibram-se relações entre variáveis e inserem-se valores para as constantes de acordo com a realidade observada. O modelo contínuo exige definir pedidos anuais, e as relações entre pedidos de reinternamento e taxa de mortalidade com o tempo de permanência em UCI. No submodelo discreto existem duas variáveis (constantes) cujo valor tem ser calibrado para que os resultados do “run” de calibração se aproximem o máximo da realidade observada.

8. Construção de um interface para o utilizador

Neste ponto, o simulador passa a ser customizado para o utilizador alvo. As respostas às questões levantadas nesta tese devem estar acessíveis através deste interface. O interface também deve permitir ao utilizador customizar cenários e testar possíveis soluções. Por exemplo: “Se o número de pedidos colocados aumentar em 10%, será que ainda consigo manter a taxa de rejeição de pedidos urgentes inferior a 10%?”. Ou seja, o interface tem de ser robusto o suficiente para responder a questões imprevisíveis que possam surgir por parte do utilizador.

9. Obtenção de resultados

Com o modelo calibrado e o interface pronto é agora possível ao utilizador usar o simulador como bem lhe apetecer. Uma das respostas procuradas na tese é se a UCI se encontra mal dimensionada face às exigências das operações dentro do hospital. O simulador deve conseguir responder a esta questão.

Por outro lado, sendo um simulador de gestão, deve permitir a configuração de cenários e definição de objectivos, e possibilitar ao utilizador descobrir o caminho para atingir esses mesmos objectivos, por alteração dos valores nas variáveis de decisão.

10. Teste de sensibilidade

Há agora que verificar se alterações em parâmetros do modelo conduzem a resultados substancialmente diferentes. No modelo contínuo essa análise de sensibilidade é muito fácil de fazer, já que esta pode ser feita através do próprio interface do utilizador. As funções matemáticas, no modelo, relevantes para análise de sensibilidade, são incluídas no interface sob dois modos – um automático e outro manual. No modo automático o modelo funciona com as relações definidas *a priori*, no modo manual o próprio utilizador pode alterar o valor da variável se pensar que o seu valor não é o adequado face às condições no sistema.

No submodelo discreto testa-se a robustez dos resultados obtidos quando a distribuição do tempo médio de permanência é feita variar. Também se testa se variações até $\pm 50\%$ nos dois parâmetros de calibração do submodelo discreto conduzem a resultados substancialmente diferentes.

11. Obtenção de conclusões

Uma vez obtidos os resultados e assegurada a sua qualidade através da análise de sensibilidade, podemos então obter conclusões.

3.2. Metodologias alternativas

Segundo Sterman (2000), não existe nenhum livro de receitas para uma modelação de sucesso, nenhum procedimento a seguir que garanta a produção de um modelo útil. A modelação é uma actividade intrinsecamente criativa. Cada modelador tem o seu estilo e abordagem próprios. Contudo, todos os modeladores de sucesso seguem um processo disciplinado que inclui as seguintes actividades:

1) Articulação do problema

Neste ponto é explorada a origem do problema. Quais são os principais conceitos e variáveis a considerar, qual o seu comportamento histórico e qual o horizonte temporal relevante.

2) Formulação da hipótese dinâmica

Neste ponto elabora-se uma hipótese que permita explicar o comportamento problemático a partir da estrutura interna do sistema. A estrutura interna do sistema é explorada recorrendo a técnicas de mapeamento como sejam os DCC.

3) Construção de um modelo de simulação

Neste ponto desenvolve-se a estrutura do modelo, definem-se parâmetros, relações e condições iniciais. Deve ter atenção para garantir que o modelo mantém-se fiel ao propósito da simulação e às suas fronteiras.

4) Teste

Os procedimentos possíveis para testar o modelo incluem verificar se explica de forma adequada o comportamento problemático, se é robusto a variações extremas nas condições iniciais, e qual a sensibilidade a alterações nos parâmetros e relações.

5) Concepção de políticas e avaliação

Com base nos resultados elaboram-se recomendações. Verifica-se a potencial interacção entre políticas, e a validade das mesmas se as condições ambientes se alterarem.

A metodologia adoptada sobrepõe-se à metodologia sugerida por Sterman em vários pontos. Os dois primeiros pontos da metodologia seguida sobrepõem-se aos dois primeiros da metodologia de Sterman, sendo que a definição das variáveis a incluir no modelo só será feita aquando da representação do processo em linguagem de níveis e fluxos. A definição dos objectivos da simulação, a definição da fronteira do modelo, a construção do modelo matemático, a calibração e construção do interface cabem no ponto 3 da metodologia de Sterman. O teste ao modelo e a obtenção de conclusões sobrepõem-se com os últimos dois pontos da metodologia de Sterman.

Em artigos científicos sobre Dinâmica de Sistemas, aplicada a casos de estudo, nunca é feita uma dupla representação do problema, primeiro sob a forma de Diagrama de Ciclo Causal (DCC) e depois sobre a forma de um diagrama de níveis e fluxos. Opta-se por explicar o problema directamente num diagrama de níveis e fluxos ou, em alguns casos, misturam-se as duas representações, resultando num diagrama de níveis e fluxos com notações de DCC. Nesta tese, o DCC e a estrutura de níveis e fluxos são independentes, e servem propósitos diferentes no processo de modelação, tal como explicado anteriormente.

Há a salientar o interessante relato do planeamento e progresso de um processo de modelação que Martinez-Moyano, Wadhwa e MacDonald (2003) levaram a cabo num pequeno consultório de cirurgia maxilo-facial, em Nova York, que cobriu aproximadamente 3 anos, e que incluiu a formação do pessoal médico em Dinâmica de Sistemas.

4. Modelação

4.1. Definição do problema em linguagem corrente

A definição do problema em linguagem corrente está no capítulo 1.1. Definição do problema.

4.2. Definição do problema recorrendo a um Diagrama de Ciclo Causal

Neste capítulo pretende-se construir uma representação gráfica do problema que sirva de ferramenta de comunicação entre os agentes em conflito dentro do IPO. Esta ferramenta também serve para validar a percepção do problema por parte do modelador. A metodologia escolhida é um Diagrama de Ciclo Causal (DCC).

O cerne do problema está na incapacidade da responsável da UCI em satisfazer, simultaneamente, as necessidades dos pacientes e as exigências da Administração. As necessidades dos pacientes podem-se medir em dias de internamento. No fundo, neste problema, o que o paciente precisa é de estar internado em UCI até que o seu estado de saúde recupere o suficiente para poder ser transferido para inferiores níveis de cuidados a jusante. Embora a Administração do hospital não tenha nenhuma métrica ou objectivos de performance estabelecidas para a UCI, através das queixas dos outros serviços, ela percepçiona o tempo médio de internamento como excessivo, e sendo a causa da má performance do sistema. O sintoma mais óbvio desta má performance é a incapacidade de responder a todos os pedidos de admissão colocados. Assim sendo, a linha de raciocínio da Administração é clara - uma diminuição do tempo médio de permanência iria ter um impacto positivo no sistema. Podemos assumir que as exigências da Administração também se podem medir em dias de internamento. Ou seja, para atingir um determinado objectivo de performance é necessário que o tempo médio de permanência seja de “d” dias. Esta questão está representada no DCC da Figura 4-1.

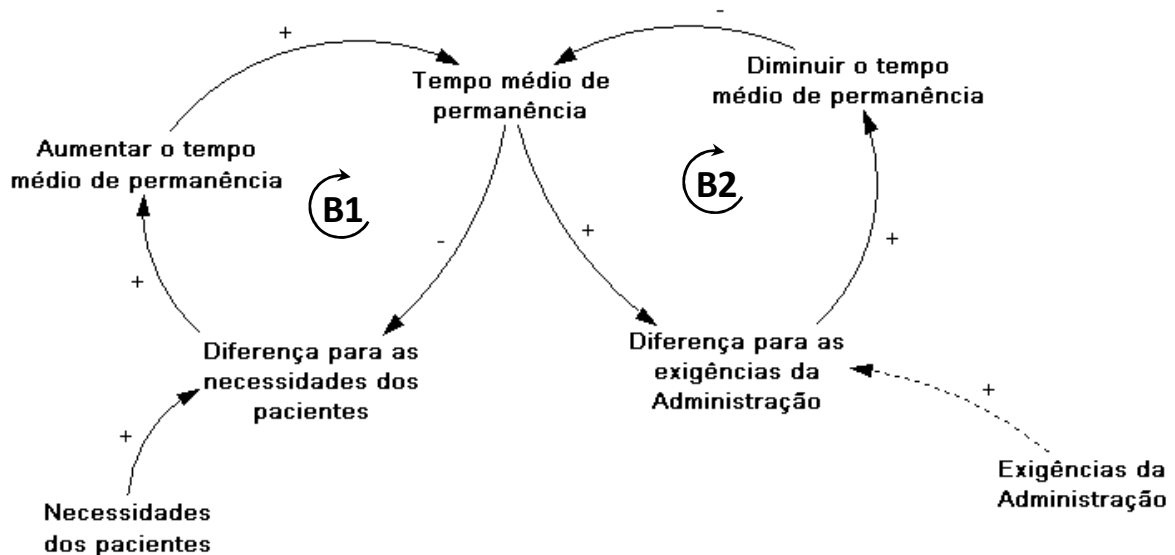


Figura 4-1: Necessidades dos pacientes e exigências da Administração.

Quando o “Tempo médio de permanência” está aquém das “Necessidades dos pacientes” isso desencadeia uma acção de ajuste por parte da responsável da UCI, que consiste em “Aumentar o tempo médio de permanência”. Se o “Tempo médio de permanência” estiver acima das “Exigências da Administração” isso desencadeia uma acção de ajuste por parte da responsável da UCI, que consiste em “Diminuir o tempo médio de permanência”. Estas duas acções de ajustamento são em sentido contrário – uma conduz ao aumento do “Tempo médio de permanência” e a outra à sua diminuição, respectivamente. Este mecanismo só por si não é motivo de conflito. O problema está no facto de o valor para o “Tempo médio de permanência” que balança o ciclo B1 ser diferente do valor para o ciclo B2. Matematicamente falando, o conjunto solução para o ciclo B1 não se intercepta com o conjunto solução para o ciclo B2.

Olhando para o DCC da Figura 4-1 podemos esboçar duas propostas de solução para o problema – talvez seja possível balancear ambos os ciclos se se conseguir diminuir as “Necessidades dos pacientes” ou as “Exigências da administração”. Diminuir as “Exigências da Administração” não me parece boa política, isso essencialmente consiste em “tapar o sol com a peneira”, e entraríamos num mecanismo bem ilustrado pelo arquétipo de Senge *Eroding goals*. Para diminuir as “Necessidades dos pacientes” existe já uma solução em cima da mesa que consiste em introduzir no hospital uma Unidade de Cuidados Intermédios. Deste modo os pacientes já não precisariam de estar internados em UCI tanto tempo e as suas hipóteses de sobrevivência continuariam maximizadas. Quanto a satisfazer as “Exigências da Administração” a solução pode passar por dar mais recursos à UCI, nomeadamente aumentar o número de camas instaladas. As duas soluções são independentes e com efeito potencialmente aditivo, como se pode ver na Figura 4-2.

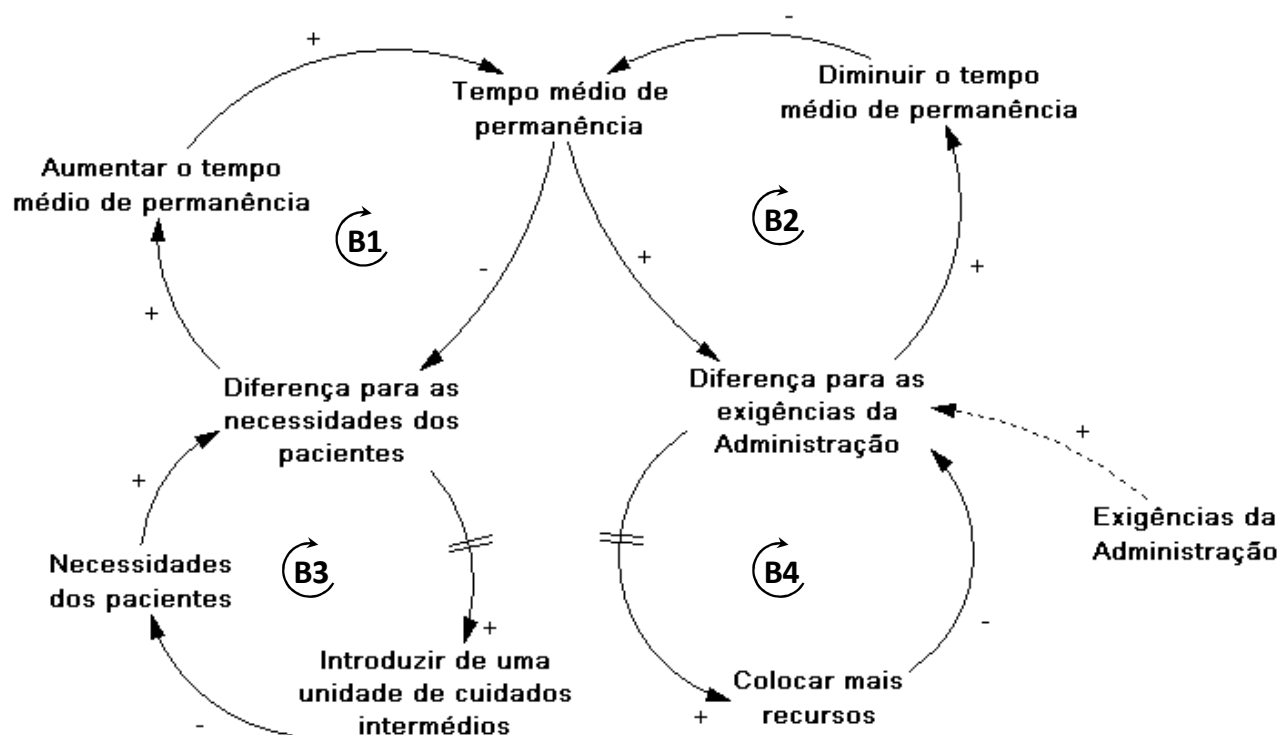


Figura 4-2: Duas soluções: uma unidade de cuidados intermédios ou mais recursos para a UCI.

Com a introdução de uma Unidade de Cuidados Intermédios diminuem as “Necessidades dos pacientes” em termos de tempo de internamento na UCI. Deste modo, um valor mais baixo para o “Tempo médio de permanência” já pode conseguir balancear o ciclo B1. Do outro lado, “Colocar mais recursos” na UCI leva a que as “Exigências da Administração” sejam mais facilmente atingíveis podendo um valor mais alto para o “Tempo médio de permanência” balançar o ciclo B2.

Note-se que as duas soluções acima são independentes. “Introduzir uma unidade de cuidados intermédios” não inviabiliza “Colocar mais recursos” na UCI, ou vice-versa. Quanto muito, a implementação de uma solução leva a que deixe de ser necessário implementar a outra. A implementação das duas soluções simultaneamente tem um efeito aditivo de acordo com os mecanismos descritos no parágrafo anterior.

Até agora, a “Diferença para as exigências da Administração” parece independente da “Diferença para as necessidades dos pacientes”, mas não o é. Note-se que, se as “Necessidades dos pacientes” não forem satisfeitas, isso resultará em recaídas no estado de saúde, ou seja haverá uma maior “Taxa de pedidos de reinternamento”, o que virá a engrossar o caudal de pedidos urgentes contribuindo para o agravar da má performance da Unidade. A “Taxa de pedidos de reinternamento” é a proporção, em percentagem, entre o número de pacientes que recaem no seu

estado de saúde após terem alta da UCI, e o número total de pacientes que receberam alta vivos⁷ na UCI. Este mecanismo está ilustrado na Figura 4-3.

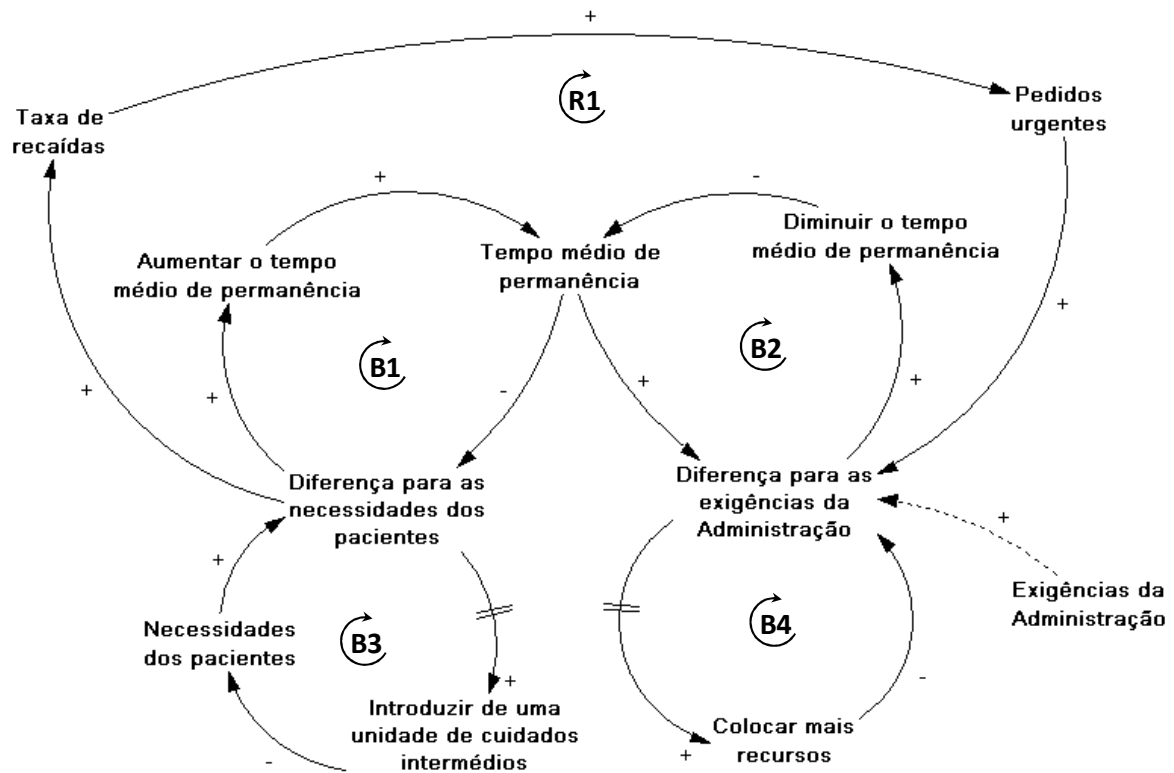


Figura 4-3: Impacto da Diferença para as necessidades dos pacientes na Diferença para as exigências da Administração do hospital.

Um maior “Taxa de pedidos reinternamento” resultará em mais pedidos urgentes colocados. Mantendo tudo o resto constante no sistema, um maior caudal de pedidos resultará forçosamente numa maior taxa de rejeição de pedidos urgentes, maior taxa de ocupação e mais tempo de espera, contribuindo para um aumento na “Diferença para as exigências da Administração”.

O ciclo de reforço R1 mostra que diminuir o “Tempo médio de permanência” pode ter um efeito contraproducente sobre a “Diferença para as exigências da Administração”. Ao “Diminuir o tempo médio de permanência” aumentará a “Taxa de pedidos de reinternamento”, resultando em mais pedidos de admissão, o que vem piorar ainda mais o estado do sistema, que a própria diminuição do “Tempo médio de permanência” queria melhorar. Por outro lado “Aumentar o tempo médio de permanência” parece aumentar directamente a “Diferença para as exigências da Administração”, mas tem o efeito diferido de evitar recaídas o que pode levar a uma melhoria no sistema através do mecanismo descrito anteriormente. Resumindo, o modo como o “Tempo de

⁷ O termo “altas”, em meio hospitalar, representa a saída de pacientes de uma unidade, quer estejam vivos ou mortos. Daí termo “altas vivos” não ser redundante. Em linguagem comum, “altas” representam apenas os pacientes que deixam uma unidade com vida.

permanência” impacta a “Taxa de pedidos de reinternamento” é crítico para perceber se: é contraproducente diminuir o “Tempo médio de permanência” tendo como objectivo diminuir a “Diferença para as exigências da Administração”; ou se a pior performance do sistema que resulta do aumento do “Tempo médio de permanência” pode ser compensada pela redução do número de pedidos colocados via um menor número de pedidos de reinternamento. Note-se que os dois comportamentos anteriores são duas faces da mesma moeda, variando apenas na perspectiva de quem explora este *feedback*. Dada a ausência de dados históricos, interessa apurar, para cada valor de “Tempo médio de permanência” qual é o valor da “Taxa de recaídas” que desencadeia o comportamento contra-intuitivo.

Falta acrescentar, nesta representação da percepção do problema, como surgem os conflitos e como é minada a motivação do pessoal da UCI. Atente-se na Figura 4-4:

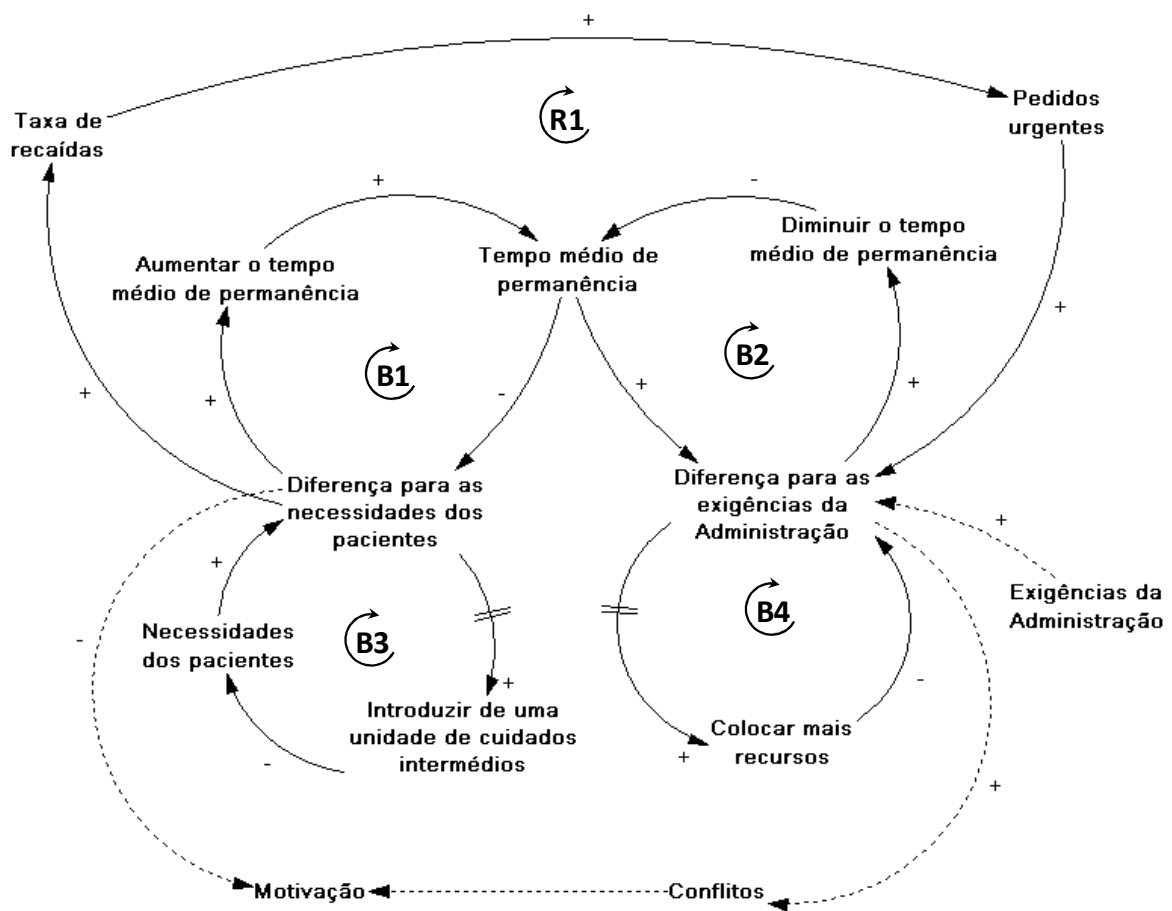


Figura 4-4: Conflitos e Motivação.

Os conflitos existem entre a UCI e a Administração do hospital e também entre a UCI e os outros serviços do hospital. Estes conflitos têm exactamente a mesma fonte, por isso a representação da Figura 4-4 é suficiente. Os conflitos nascem da incapacidade da responsável da UCI em satisfazer as “Exigências da Administração”. Um ambiente conflituoso e a incapacidade de prestar o melhor serviço possível aos seus pacientes minam a motivação de quem trabalha na UCI.

A qualidade do serviço prestado aos pacientes é directamente proporcional à moral e ao nível motivacional dos profissionais de saúde (Amin e Wahba, 2003).

No DCC elaborado existem duas estruturas que se podem enquadrar no arquétipo de Senge *Shifting the Burden*. A primeira compreende os ciclos de balanço B1 e B3. A “Diferença para as necessidades dos pacientes” equivale a um sintoma do problema. A solução sintomática consiste em “Aumentar o tempo médio de permanência”, e a solução fundamental em “Introduzir uma Unidade de Cuidados Intermédios”. Note-se que existe um sinal de atraso na prossecução da solução fundamental. Neste caso o atraso, mais do que tempo de implementação, significa esforço financeiro. Nesta estrutura não existe um efeito secundário que dificulte a prossecução da solução fundamental. A outra estrutura compreende os ciclos de balanço B2 e B4. A “Diferença para as exigências da Administração” equivale a um sintoma do problema. A solução sintomática consiste em “Diminuir o tempo médio de permanência”, e a solução fundamental (uma solução possível) consiste em “Colocar mais recursos na UCI”. A razão para a colocação do sinal de atraso é a mesma que para a estrutura anterior – esforço financeiro. Mais uma vez não existe efeito secundário que dificulte a prossecução da solução fundamental.

Os ciclos B1 e B2 são dependentes e parecem representar um caso notável onde se mostra a impossibilidade de satisfazer dois objectivos simultaneamente, porque a acção que satisfaz o objectivo em B1 é precisamente contrária à acção que satisfaz o objectivo em B2. Existe um arquétipo de Senge que retrata um mecanismo semelhante, mas com uma representação gráfica fundamentalmente diferente – *Accidental adversaries*. A optimização de dois subsistemas é impossível de ser simultaneamente conseguida pois a solução do primeiro subsistema tem do efeito secundário de dificultar o implementar da solução para o segundo subsistema, e vice-versa.

A realização deste passo na metodologia de modelação foi fundamental para se conseguir definir os objectivos da simulação, explicados no próximo capítulo.

4.3. Definição dos objectivos da simulação

Após o passo do capítulo anterior, está assegurada uma válida percepção sobre o problema em estudo. Deste modo, o modelo de simulação que se vier a formular deve conseguir responder a esta questão fundamental: “Está ou não a UCI mal dimensionada face às exigências das operações dentro hospital?”. Mostrar o bom dimensionamento é mais difícil do que mostrar o mau. Para mostrar o mau dimensionamento, coloca-se o tempo médio de permanência no valor considerado adequado pela Administração do hospital, e o simulador deve responder quais serão os valores observados nas variáveis que se quiserem monitorizar. Note-se que para este procedimento ser completamente robusto assume-se que qualquer que seja o tempo médio de permanência a taxa de recaídas é nula ou a taxa de mortalidade em UCI é 100%⁸. De acordo com a resposta do simulador nas variáveis a monitorizar conclui-se pelo mau dimensionamento da Unidade ou não se conclui nada⁹.

⁸ Estas assumpções são completamente equivalentes. O que se quer assegurar é que os pacientes que recebem alta, em momento algum, voltam a gerar pedidos de reinternamento.

⁹ Note-se que este procedimento apenas permite concluir sobre o mau funcionamento. A rejeição desta hipótese não implica ter como válida a hipótese do bom funcionamento.

Se não se conseguir concluir pelo mau dimensionamento é necessário elaborar um procedimento para tentar concluir pelo bom¹⁰ dimensionamento. Um procedimento absolutamente robusto consiste em assumir que para o tempo médio de permanência tido com normal a taxa de recaídas é de 100% e a taxa de óbito em UCI é 0%. É altamente improvável que o sistema consiga absorver esta situação extrema. Em caso de falha, é necessário verificar para que valor da taxa de recaídas (máxima) despoletada pela diminuição de tempo médio de permanência ainda se consegue concluir pelo bom dimensionamento da Unidade. Descarta-se a variação na taxa de mortalidade já que esta é estimada como muito inferior à variação na taxa de recaídas quando se alterar o tempo médio de permanência¹¹. Conclui-se pelo bom dimensionamento da UCI se essa taxa de recaídas encontrada for tida como razoável.

Ao se concluir pelo bom dimensionamento, isso implica que a introdução de uma Unidade de Cuidados Intermédios resolverá o problema. Se a conclusão for a contrária, então a introdução dessa Unidade não resolverá o problema.

Neste momento existem 6 camas instaladas na UCI, mas apenas 5 delas podem ser usadas em simultâneo. Isto acontece porque uma das camas destina-se a pacientes que precisam de estar em isolamento, e a abertura dessa cama implica o fecho de outra. Especula-se se de facto se justifica ter uma cama reservada para pacientes que precisam de isolamento. No caso de se ter concluído pelo mau dimensionamento, pode-se repetir o processo considerando agora que existem 6 camas em vez de 5 instaladas na UCI. Isto de alguma forma representa experimentar a solução referida no DCC como “Colocar mais recursos”.

Não é necessário mostrar o efeito aditivo das soluções fundamentais – “Introduzir uma Unidade de Cuidados Intermédios” e “Colocar mais recursos”. Este efeito é imediatamente assumido como válido ao se ter como verdadeira a premissa de que introduzir uma Unidade de Cuidados Intermédios permite reduzir o tempo médio de permanência sem que se observem recaídas, e a independência entre as soluções.

Também não é necessário mostrar que a diminuição do tempo médio de permanência leva à observação de recaídas e pedidos de reinternamento já que esse é um pressuposto na definição do sistema.

É necessário mostrar sim, como é que as variações no tempo médio de permanência nos aproximam ou afastam das exigências da Administração. Dada a inexistência de objectivos para a Unidade, isso equivale a mostrar como é que as variações no tempo médio de permanência impactam em variáveis que se propõe que possam servir de indicadores de performance para a Unidade.

¹⁰ De facto pretende-se verificar se o dimensionamento é suficiente. O termo “bom dimensionamento” inclui também o sobredimensionamento.

¹¹ Aquando da calibração do modelo vai-se assumir inclusivamente uma taxa de mortalidade constante para a gama de variação do tempo médio de permanência em estudo. Embora a literatura, (Audit Commission, 1999), refira que maiores tempos de permanência conduzem a uma maior taxa de mortalidade, já que os pacientes que já iam morrer de qualquer modo fazem-no agora na UCI, a calibração do modelo junto do pessoal médico da UCI permitiu concluir que, pelo menos para o caso de estudo em mãos, o tempo de permanência é o factor menos significativo da definição da taxa de mortalidade.

Adicionalmente, o simulador deve permitir testar para que conjuntos que sejam solução para as variáveis de decisão sobre o sistema é possível atingir os objectivos que se venham a estabelecer, para determinadas condições no sistema. Por exemplo, se o número de pedidos de admissão aumentar em 10% será ainda possível atingir uma taxa de rejeição de pedidos inferior a 5%, mantendo um tempo médio de permanência não inferior a 8 dias?

Em última nota, interessa determinar qual é a relação entre tempo médio de permanência e taxa de recaídas que despoleta o comportamento contra intuitivo associado à Figura 4-3 do capítulo 4.2. Definição do problema recorrendo a um Diagrama de Ciclo Causal.

4.4. Definição da fronteira do modelo de simulação

A realidade que se pretende representar no modelo matemático diz respeito quase exclusivamente aos processos que ocorrem dentro da UCI. A interacção entre o subsistema UCI e o subsistema Exterior faz-se apenas através de quatro fluxos de pacientes e dois fluxos de informação. A Figura 4-5 representa a fronteira do modelo e as interacções entre subsistemas.

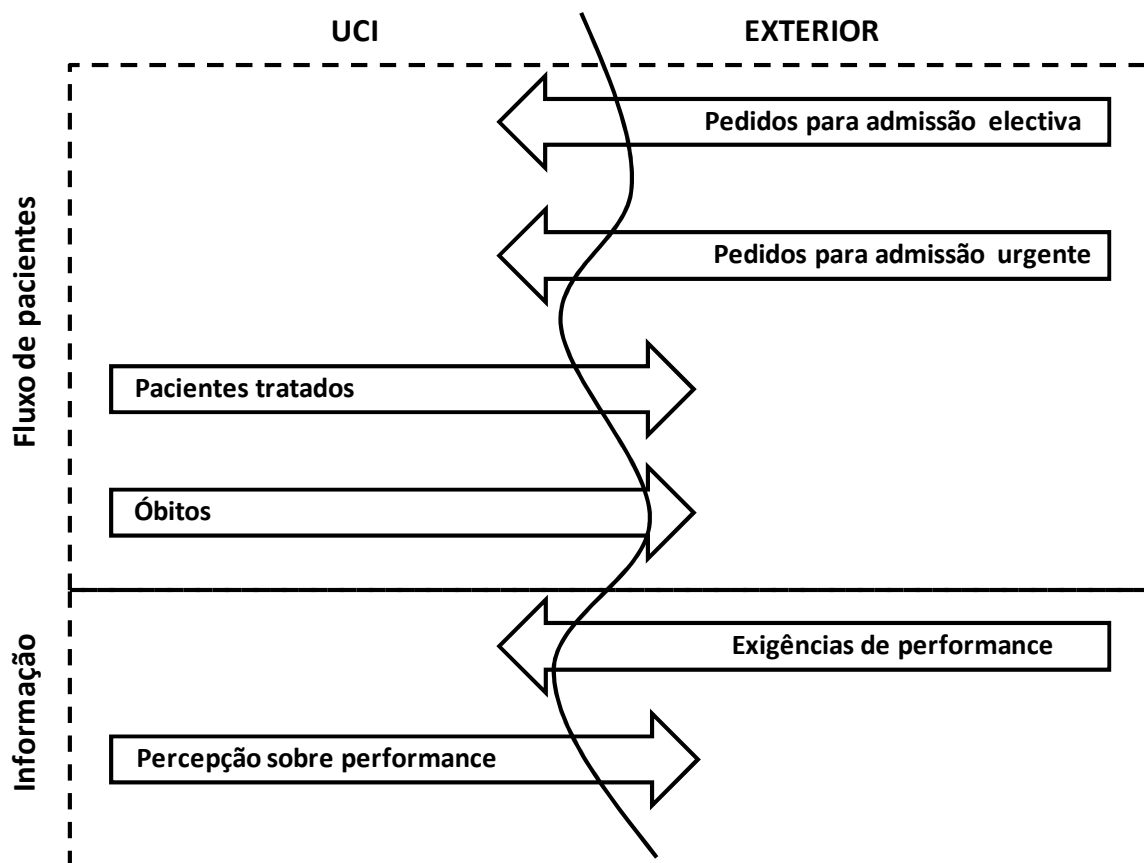


Figura 4-5: Representação da fronteira do modelo.

Em termos de entidades, do exterior chegam pedidos para admissão electiva e pedidos para admissão urgente¹². A UCI devolve pacientes tratados ou óbitos. Em termos de informação, do exterior chegam exigências de performance por parte da Administração do hospital, e a UCI fornece a percepção sobre essa mesma performance.

Aquando da definição da fronteira do modelo, Sterman afirma ser boa prática, mas rara, a inclusão de uma tabela com a classificação das variáveis ou fenómenos em endógenas, exógenas ou excluídas (Sterman, 2000). Não é ainda neste capítulo que se vão definir as variáveis que tomarão parte do modelo. No entanto, faz todo o sentido explicar já quais as variáveis que vão ser tratadas com exógenas e aquelas que serão excluídas. A Tabela 4-1 mostra essa classificação.

Tabela 4-1: Variáveis exógenas e excluídas.

Exógenas	Excluídas
Pedidos electivos	Tipo de patologia dos pacientes
Pedidos urgentes (parcialmente)	Probabilidade de contrair infecção nosocomial
Exigências da Administração	Custos

Segundo Sterman (2000), este passo é importante para clarificar a aplicabilidade do modelo a realidades diferentes. Por exemplo, de acordo com Tabela 4-1, não se pode aplicar este modelo a uma UCI onde seja determinante para o sistema o tipo de patologia dos pacientes. Suponhamos que existia um certo tipo de patologia que exigia 100 % do tempo de recuperação em UCI, então nesse caso este modelo era fraco pois um dos *feedbacks* importantes é a ressubmissão dos pedidos urgentes via pedidos de reinternamento. Outra variável excluída é a probabilidade de contrair uma infecção nosocomial que se sabe aumentar exponencialmente com o “Tempo de permanência”, (Audit Commission, 1999). Assume-se que para as variações de “Tempo de permanência” em causa, a variação nessa probabilidade é desprezável. Os custos de operação ou de políticas que eventualmente se venham implementar saem fora do âmbito do modelo.

As variáveis incluídas mas cujo comportamento é exógeno ao sistema modelado são o número de pedidos electivos; parte dos pedidos urgentes, já que uma parte desses pedidos se deverá a recaídas, modeladas no sistema; e as exigências da Administração.

A definição da fronteira do modelo está concluída. Dentro desta é possível obter resposta aos objectivos expressos no capítulo 4.3. Definição dos objectivos da simulação.

¹² Mais sobre o significado destes pedidos em 4.5.

4.5. Definição dos processos em linguagem corrente e sua representação em linguagem de níveis e fluxos

O primeiro passo na construção do simulador por níveis e fluxos faz-se como que contando uma história dos processos que envolvem a UCI. A Unidade tem alguma analogia com uma linha de produção – de um lado entram pacientes doentes e passado algum tempo de serviço transformam-se em pacientes tratados, deixando a Unidade. A Figura 4-6 conta como é que os pacientes chegam à UCI.

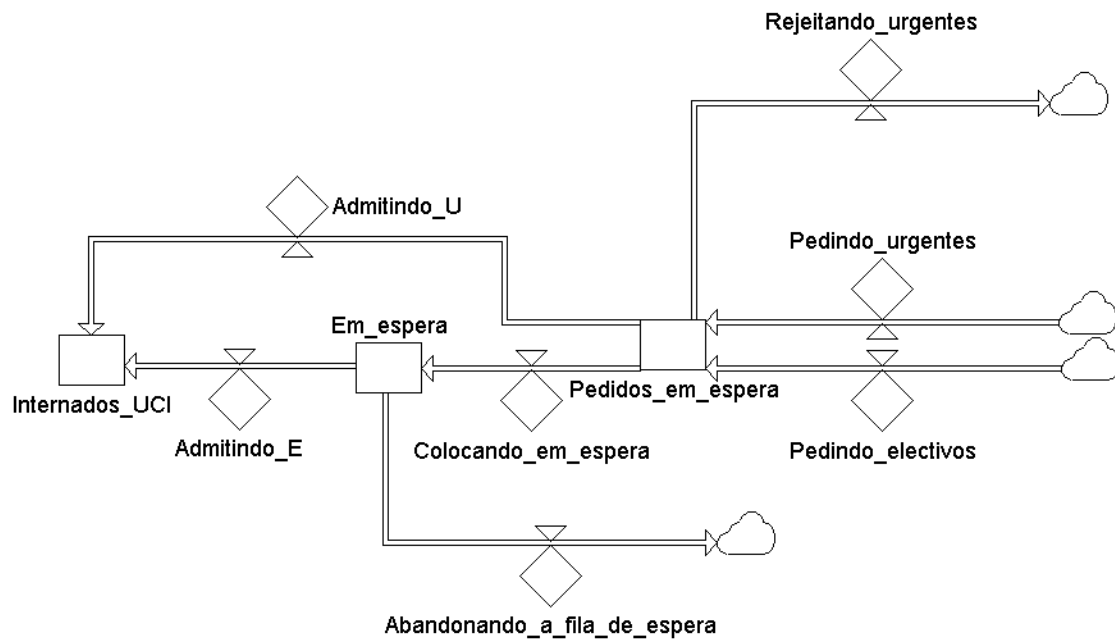


Figura 4-6: O caminho dos pacientes até à UCI.

Os pacientes podem ser divididos em dois grupos – pacientes electivos e pacientes urgentes. Os pacientes electivos são aqueles cuja admissão à UCI resulta de uma cirurgia electiva (programada). Os pacientes urgentes são aqueles que necessitam dos cuidados da UCI após o seu estado de saúde se ter deteriorado inesperadamente. Tipos de pacientes diferentes chegam à UCI via tipos de pedidos de admissão diferentes – “Pedindo urgentes” para pacientes urgentes e “Pedindo electivos” para pacientes electivos. A ocorrência de pedidos de admissão urgentes é, por natureza, aleatória no tempo, já que ninguém planeia entrar em estado crítico de um momento para o outro. Os únicos pacientes cuja entrada em estado crítico pode ser planeada são os electivos, já que a entrada num estado crítico de saúde resulta de uma cirurgia programada. Com o mínimo de coordenação, os pedidos electivos podiam ser determinísticos num determinado intervalo de tempo. Dada a fraca coordenação entre o pessoal cirúrgico e o pessoal de UCI, assume-se que os pedidos electivos também se comportam de forma aleatória no tempo.

Os pedidos colocados ficam como que num “buffer”, representado pelo nível “Pedidos em espera”, aguardando decisão por parte da responsável da Unidade. Os pedidos urgentes ou são imediatamente atendidos ou são rejeitados, estando estas duas acções representadas pelos fluxos “Admitindo U” e “Rejeitando urgentes”. Os pedidos electivos são sempre colocados no nível “Em espera”. Mesmo tendo a UCI capacidade imediata para receber o paciente, existe sempre um tempo

mínimo que decorre entre colocar o pedido, obter resposta afirmativa, convocar o paciente, operar, e admitir na UCI (“Admitindo E”). Este período nunca é inferior a 24 horas. Se o tempo em espera for demasiado elevado, alguns pacientes abandonarão o nível “Em espera” via o fluxo “Abandonando a fila de espera”. Por vezes o tempo de espera é tão elevado que os pacientes vêem os seus tumores evoluírem para um estado inoperável e abandonam a fila. Outras vezes, de forma menos dramática, os pacientes abandonam a fila porque são transferidos para outros hospitais (raramente).

Na Figura 4-7 acrescentou-se à representação da Figura 4-6 o que acontece aos pacientes após serem admitidos na UCI.

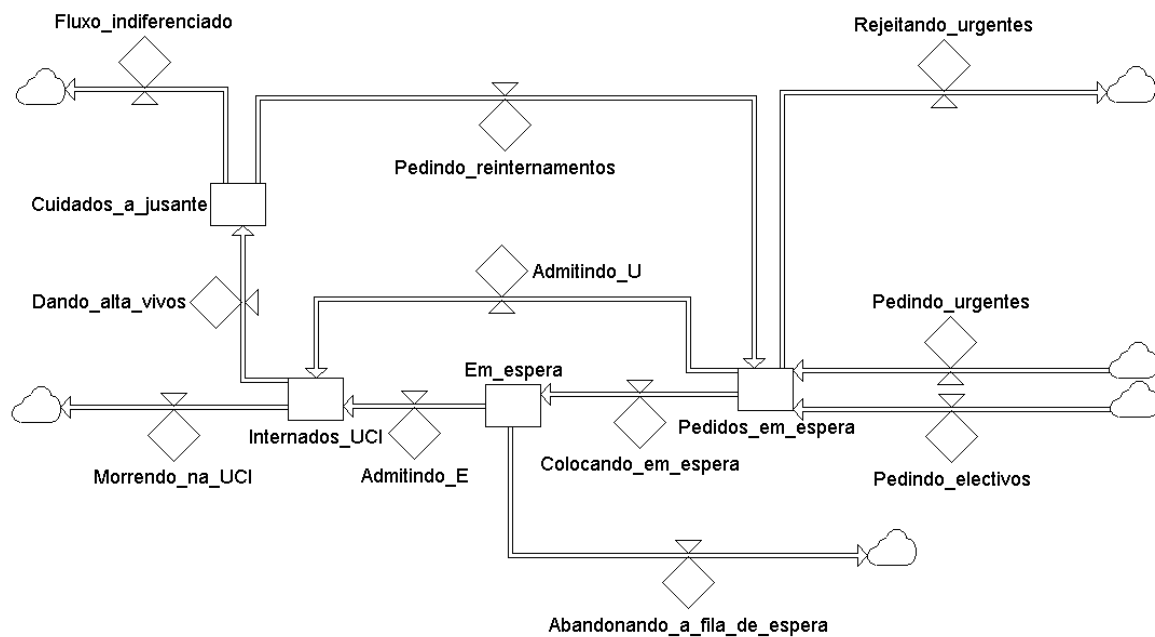


Figura 4-7: Deixando a UCI.

Após a entrada na UCI, uma de duas coisas pode suceder ao estado de saúde dos pacientes. Ou se deteriora ainda mais, resultado na morte do paciente, ou recupera, podendo agora ser transferido para um nível de cuidados menos exigente. Estas duas sortes são representadas por dois fluxos que saem do nível “Internados UCI” – “Morrendo na UCI” e “Dando alta vivos”, respectivamente. Os pacientes que chegam a um nível de cuidados a jusante podem vir a morrer mais tarde, recuperar e receber alta, ficar internado cronicamente, ou ainda observar a recaída do seu estado de saúde e necessitar reinternamento na UCI. Este fluxo de pacientes que necessita de readmissão à UCI está representado no fluxo “Pedindo reinternamentos”. Estes pedidos para reinternamento são tratados tal como se de um normal pedido urgente se tratasse. Estes pacientes ou são imediatamente admitidos ou são rejeitados. O fluxo “Fluxo indiferenciado” encaminha os pacientes que não sofrem recaída no seu estado de saúde. É irrelevante para a representação das fronteiras do sistema se estes pacientes morrem mais tarde, têm alta, etc...

4.6. Elaboração de um modelo matemático

4.6.1. Modelo contínuo

Neste ponto temos uma boa representação dos processos em torno na UCI. No entanto, estamos ainda longe de ter uma linguagem matemática coerente. Para atingir este objectivo é necessário acrescentar variáveis e definir as funções (equações) que governam o sistema. Este passo requer duas simplificações. Em primeiro lugar, o fluxo “Pedindo reinternamentos” é desconectado ao nível “Pedidos em espera”. Sendo o pedido de reinternamento um tipo de pedido de admissão urgente, escreve-se o fluxo “Pedindo urgentes” como função de duas variáveis – “Pedidos urgentes normais” e “Pedindo reinternamentos”. Embora agora não seja evidente a vantagem desta desconstrução, ela sê-lo-á mais adiante quando existirem variáveis a dependerem do total de pedidos urgentes colocados (reinternamento e normais). Em segundo lugar o fluxo “Fluxo indiferenciado” é simplesmente eliminado. Está fora da fronteira do modelo representar o que acontece aos pacientes que não sofrem recaída. O próprio valor no nível “Cuidados a jusante” é irrelevante, já que o fluxo “Pedindo reinternamentos”, fica correctamente definido exclusivamente à conta do fluxo “Dando alta vivos” e de uma taxa de pedidos de reinternamento como se verá adiante. Com estas duas simplificações, a Figura 4-7 transforma-se na Figura 4-8.

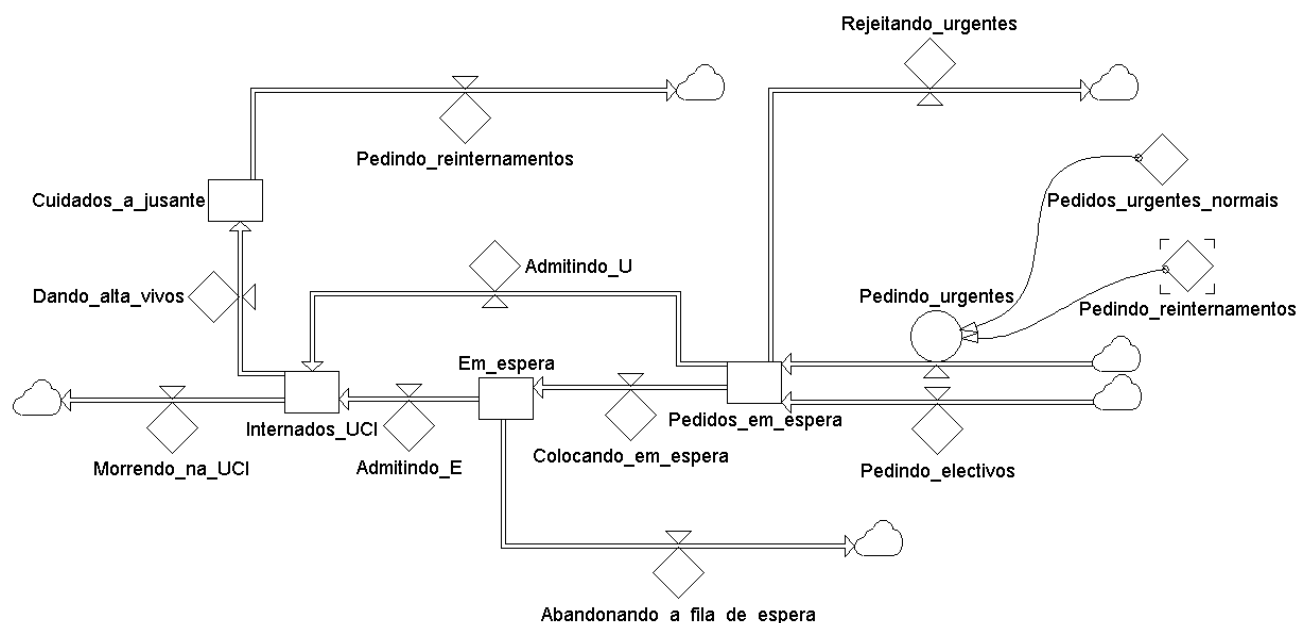


Figura 4-8: Separação de pedidos urgentes por tipo.

Vamos agora acrescentar à representação gráfica do processo as variáveis que vão permitir definir um modelo matemático coerente (Figura 4-9). Reconhece-se algum ruído visual na figura abaixo. A definição das variáveis e equações será feita da direita para a esquerda, desde os pedidos até às altas da UCI.

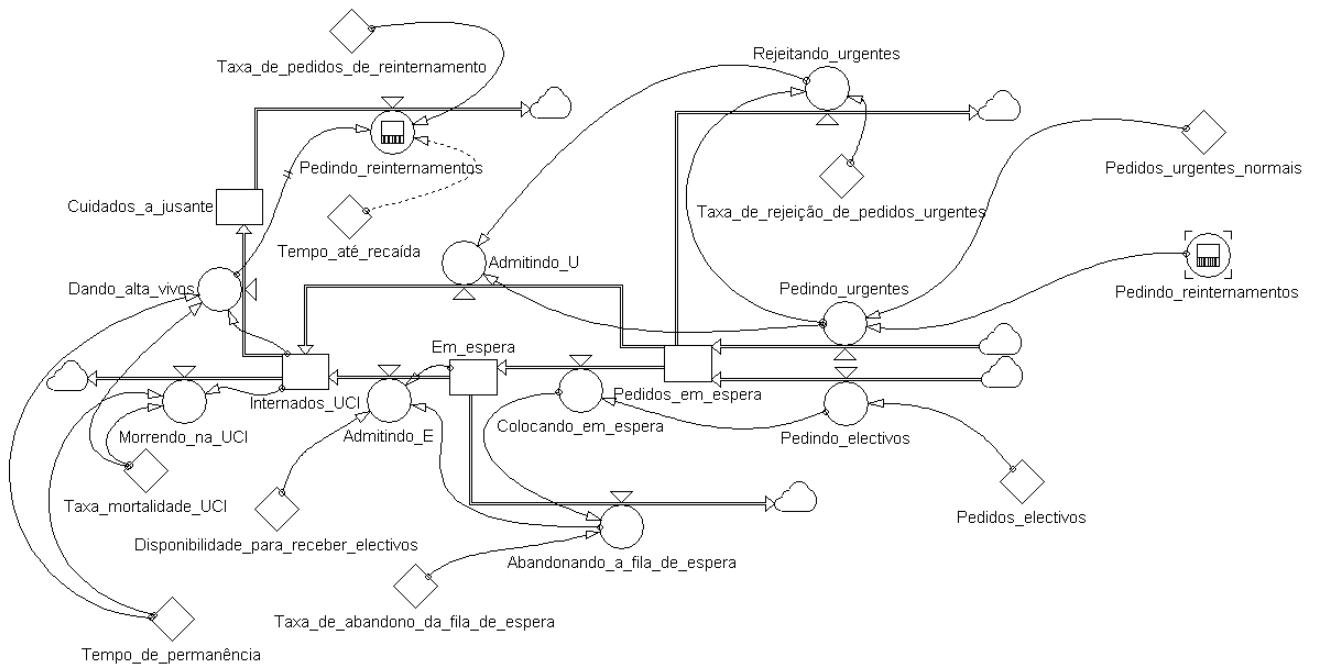


Figura 4-9: Modelação do processo com todas as variáveis.

O fluxo “Pedindo urgentes” representa o número de pedidos para admissão urgente colocados por unidade de tempo. Nos fluxos, a unidade de tempo coincide sempre com a unidade de simulação. Neste modelo, o tempo de simulação é igual a 1 dia. Todos os fluxos cuja unidade de tempo seja relevante têm de estar convertidos para “por dia”. Daqui em diante, sempre que uma variável estiver definida “por unidade de tempo”, isso refere-se a um dia. Concretizando, “Pedindo urgente” representa o número de pedidos para admissão urgente colocados por dia. Dada a natureza não estocástica do simulador, todos os fluxos representam valores médios. Por exemplo um valor de 0,5 para “Pedindo urgentes” significa que, em média, é colocado um pedido a cada dois dias, ou 182,6 pedidos por ano. Então, o fluxo “Pedindo urgentes” é função do fluxo “Pedindo recaídas” e da variável “Pedidos urgentes normais”. “Pedindo recaídas” representa o número de pedidos de admissão por recaída por unidade de tempo. “Pedidos urgentes normais” representa o número de pedidos para admissão urgente colocados num ano. Tendo o ano 365dias, em média, a equação para “Pedindo urgentes” é:

$$\begin{aligned} \text{Pedindo urgentes} \left[\frac{\text{pedidos}}{\text{dia}} \right] &= & (4.1) \\ &= \text{Pedindo reinternamentos} \left[\frac{\text{pedidos}}{\text{dia}} \right] + \frac{\text{Pedidos urgentes normais}}{365} \left[\frac{\text{pedidos} \times \text{ano}^{-1}}{\text{dias} \times \text{ano}^{-1}} \right] \end{aligned}$$

O fluxo “Pedindo electivos” representa o número de pedidos para admissão electiva colocados por unidade de tempo. Este fluxo é escrito à custa da variável “Pedidos electivos”, que representa o número de pedidos para admissão electiva por ano. A equação é:

$$\text{Pedindo electivos} \left[\frac{\text{pedidos}}{\text{dia}} \right] = \frac{\text{Pedidos electivos}}{365} \left[\frac{\text{pedidos} \times \text{ano}^{-1}}{\text{dias} \times \text{ano}^{-1}} \right] \quad (4.2)$$

Pode parecer perfeitamente inútil definir uma variável em função de outra multiplicada por uma constante. Esta conversão de unidades/ano para unidades/dia é necessária pois o passo de simulação é 1 dia, mas o input sobre o número de pedidos electivos será dado em anos. Ninguém dirá que o número de pedidos electivos é 0,548 pedidos por dia. É muito mais inteligível razoável dizer que são 200 pedidos por ano.

O fluxo “Rejeitando urgentes” representa o número de pedidos para admissão urgente que são rejeitados por unidade de tempo. Este fluxo escreve-se à custa do fluxo “Pedindo urgentes”, e da variável “Taxa de rejeição de pedidos urgentes”, representando esta, a proporção de pedidos urgentes colocados que não admitidos por falta de vaga na UCI, expresso em percentagem. A sua equação é:

$$\begin{aligned} \text{Rejeitando urgentes} \left[\frac{\text{pedidos}}{\text{dia}} \right] &= & (4.3) \\ &= \text{Pedindo urgentes} \times \frac{\text{Taxa de rejeição de pedidos urgentes}}{100} \left[\frac{\text{pedidos} \times \text{dia}^{-1} \times \%}{\%} \right] \end{aligned}$$

O fluxo “Admitindo U” representa o número de pedidos para admissão urgente que são satisfeitos por unidade de tempo. Este fluxo escreve-se à conta dos fluxos “Rejeitando urgentes” e “Pedindo urgentes”. A sua equação é:

$$\begin{aligned} \text{Admitindo U} \left[\frac{\text{pacientes}}{\text{dia}} \right] &= & (4.4) \\ &= \left[\text{Pedindo urgentes} \left[\frac{\text{pedidos}}{\text{dia}} \right] - \text{Rejeitando urgentes} \left[\frac{\text{pedidos}}{\text{dia}} \right] \right] \times \frac{1}{1} \left[\frac{\text{pacientes}}{\text{pedidos}} \right] \end{aligned}$$

Note-se que a constante $\frac{1}{1}$ permite converter pedidos em pacientes. A 1 pedido corresponde 1 paciente.

Pode parecer estranho escrever a admissão de pacientes em função da rejeição de pedidos. Na vida real, o número de pedidos rejeitados é determinado pela quantidade de pedidos que não se conseguiu atender, e não o contrário. Não se escolhe rejeitar os pacientes, tenta-se admitir todos, mas por falta de recursos alguns não podem ser atendidos e, dada a natureza urgente, isto equivale a serem rejeitados. Para ultrapassar esta incongruência podia-se simplesmente ter escrito o número de admissões em função do produto do número de pedidos por uma taxa de admissão. Note-se que estas duas formulações concorrentes são perfeitamente equivalentes do ponto de vista matemático. Prefere-se representar a taxa de rejeição e não a taxa de aceitação por uma questão de concordância com o modelo mental dos agentes dentro do IPO. De algum modo as pessoas preocupam-se com a taxa de rejeição e não com a taxa de aceitação.

O fluxo “Colocando em espera” representa a colocação de pedidos para admissão electiva em espera. Mesmo aqueles pedidos que podem ser atendidos imediatamente têm de passar por este fluxo. Ou seja, todos os pedidos são colocados em espera, mas o tempo até decisão de admissão

pode é porém ser nulo¹³. Este fluxo toma então exactamente os mesmos valores que o fluxo “Pedindo electivos”. A sua equação é:

$$\text{Colocando em espera} \left[\frac{\text{pedidos}}{\text{dia}} \right] = \text{Pedindo electivos} \left[\frac{\text{pedidos}}{\text{dia}} \right] \quad (4.5)$$

Neste momento todos os fluxos de entrada e saída do nível “Pedidos em espera” já se encontram definidos. Este nível representa, num determinado instante, o número de pedidos chegados e que ainda não foram encaminhados pela responsável pela UCI. Mais uma vez, dada a natureza contínua do modelo, todos os seus níveis representam valores médios. A partir da sua representação em linguagem por níveis e fluxos a sua representação matemática é:

$$\begin{aligned} \text{Pedidos em espera} [\text{pedidos}] = & \int (\text{Pedindo urgentes} \left[\frac{\text{pedidos}}{\text{tempo}} \right] + \text{Pedindo electivos} \left[\frac{\text{pedidos}}{\text{tempo}} \right] - \\ & - \text{Admitindo U} \left[\frac{\text{pacientes}}{\text{tempo}} \right] \times \frac{1}{1} \left[\frac{\text{pedidos}}{\text{pacientes}} \right] - \text{Colocando em espera} \left[\frac{\text{pedidos}}{\text{tempo}} \right]) \times dt \end{aligned} \quad (4.6)$$

“t” em “dt” representa o tempo. A constante $\frac{1}{1}$ permite converter pacientes em pedidos.

Sem mais nenhuma alteração, o nível “Pedidos em espera” terá sempre o mesmo valor durante toda a simulação. Isto tem como consequência a representação da decisão imediata sobre os pedidos. Ou seja, assim que um pedido chega ele é imediatamente ou rejeitado ou colocado em espera ou admitido. Na realidade existe um atraso entre a chegada do pedido e a tomada de decisão sobre ele. Este atraso pode ser de segundos ou de algumas horas. Seja como for, esta constante de tempo é inferior ao tempo definido para passo da simulação – 1 dia. A inclusão deste atraso implicaria a redução do passo da simulação para o minuto ou hora. Numa simulação dinâmica, pode ser impraticável ter um passo tão curto e termos de se chegar um resultado num intervalo de tempo razoável. Por outro lado, o facto de o atraso ser nulo não tem implicações nenhuma na realidade que se pretende modelar, já que nenhuma variável no sistema seria função deste atraso e vice-versa. Por estas duas razões, este atraso não foi incluído.

O fluxo “Abandonando a fila de espera” representa os pacientes electivos que abandonam a fila de espera, por unidade de tempo, devido a um tempo de espera excessivo. Os pacientes do foro oncológico têm grande urgência em serem operados, pois a evolução dos seus tumores pode implicar a sua inoperabilidade. Outras causas para o abandono da fila são o óbito ou a transferência para outros hospitais. Note-se que, na realidade, os pacientes não estão à espera de serem admitidos na UCI. As suas cirurgias é que não são reservadas sem certeza de vaga na UCI. Note-se que o modelo representa precisamente isto e não uma fila de espera para cirurgia. Outras cirurgias menores continuam a realizar-se com normalidade. O mecanismo no modelo é semelhante ao processo de rejeição de pedidos urgentes. Uma percentagem dos pedidos colocados em espera é rejeitada (variável “Taxa de abandono da fila de espera”). A equação é a seguinte:

¹³ Tal como descrito anteriormente, mesmo uma aceitação do pedido instantânea implica um período mínimo de 24 horas até admissão. Esta particularidade será considerada mais à frente com o desenvolver do modelo de simulação.

$$\begin{aligned} \text{Abandonando a fila de espera } \left[\frac{\text{pedidos}}{\text{dia}} \right] &= & (4.7) \\ &= \text{Colocando em espera} \times \frac{\text{Taxa de abandono da fila de espera}}{100} \left[\frac{\text{pedidos} \times \text{dia}^{-1}}{\% \times \%^{-1}} \right] \end{aligned}$$

O fluxo “Admitindo E” representa a admissão de pacientes provenientes de cirurgias electivas. O modelo verifica qual é a disponibilidade de UCI para receber pacientes e compara-a com o número de pedidos em espera. Se a disponibilidade for maior ou igual, então “Admitindo E” toma o valor dos pedidos em espera, caso contrário apenas são admitidos pacientes até que a disponibilidade seja nula. Esta disponibilidade da UCI é representada pela variável “Disponibilidade para receber electivos”. Esta última variável é de definição mais complexa, implicando acrescentar ainda mais variáveis ao modelo, como por exemplo o número de camas existentes na Unidade. O fluxo “Admitindo E” é então definido a partir de uma condição. A sua equação na linguagem do software é:

$$\begin{aligned} \text{Admitindo E} &= & (4.8) \\ &= \text{If}[\text{Disponibilidade para recebe electivos} \geq \text{Em espera} - \text{Abandonando a fila de espera}, \\ &\text{Em espera} - \text{abandonando a fila de espera}, \\ &\text{Disponibilidade para receber electivos}] \end{aligned}$$

A função “If” é do estilo “If, then, else”. Se a condição se verificar:

$$\begin{aligned} \text{Admitindo E } \left[\frac{\text{pacientes}}{\text{dia}} \right] &= \\ &= \left[\frac{\text{Em espera } [\text{pedidos}]}{1 [\text{dia}]} - \text{Abandonando a fila de espera} \left[\frac{\text{pedidos}}{\text{dia}} \right] \right] \times \frac{1}{1} \left[\frac{\text{pacientes}}{[\text{pedidos}]} \right] \end{aligned} \quad (4.9)$$

Se a condição não se verificar, a equação será:

$$\text{Admitindo E } \left[\frac{\text{pacientes}}{\text{dia}} \right] = \text{Disponibilidade para receber electivos} \left[\frac{\text{pacientes}}{\text{dia}} \right] \quad (4.10)$$

É de notar que foi necessário subtrair ao nível “Em espera” o fluxo “Abandonando a fila de espera” para obter o número de pacientes que querem admissão à UCI num determinado instante.

O fluxo de admissões electivas também poderia depender de um atraso em relação ao instante em que os pedidos de admissão são colocados. Esta abordagem foi tentada para esta e outras variáveis a jusante. Infelizmente estes modelos eram pobres em termos de capacidade explicativa, pois não exibiam um comportamento compatível com a realidade. Isto acontece porque um simulador continua apenas pode trabalhar com valores médios, e alguns dos comportamentos a modelar têm natureza claramente discreta e são função do estado do sistema. Por exemplo, o atraso entre receber um pedido e decidir o que fazer com ele parece não ser função do estado do sistema, por isso não apresentaria problemas de implementação num simulador deste tipo, tal como discutido anteriormente. Pelo contrário, o atraso entre colocar pedidos e admitir pacientes parece ser

claramente função do número de camas na Unidade ou o próprio número de pedidos colocados, por exemplo.

Neste ponto, todos os fluxos de entrada e saída do nível “Em espera” encontram-se definidos. O nível “Em espera” representa o número de pedidos para admissão electiva que ainda não resultaram em admissões à UCI. Note-se que alguns destes pedidos podem abandonar o nível através do fluxo “Abandonando a fila de espera”. A equação para o nível é:

$$\begin{aligned} \text{Em espera [pedidos]} = & \int \left(\text{Colocando em espera} \left[\frac{\text{pedidos}}{\text{dia}} \right] - \right. \\ & - \text{Abandonando a fila de espera} \left[\frac{\text{pedidos}}{\text{dia}} \right] - \\ & \left. - \text{Admitindo E} \left[\frac{\text{pacientes}}{\text{dia}} \right] \times \frac{1}{1} \times \left[\frac{\text{pedidos}}{[\text{pacientes}]} \right] \right) \times dt \end{aligned} \quad (4.11)$$

Este nível já pode exibir um comportamento dinâmico, pois nem sempre os fluxos de entrada igualam os fluxos de saída. Isto acontece porque para determinados estados do sistema, a “Disponibilidade para receber electivos” estrangula o fluxo “Admitindo E”.

O fluxo “Morrendo na UCI” representa o número de pacientes que abandonam a Unidade por motivo de óbito, por unidade de tempo. Este fluxo depende da taxa de mortalidade da UCI, ou seja a proporção, em percentagem, de pacientes que morrem na Unidade em relação aos que são admitidos (variável “Taxa mortalidade UCI”). A intensidade do fluxo depende também do tempo médio de permanência dos pacientes (variável “Tempo de permanência”). Para uma mesma taxa de mortalidade, um tempo médio de permanência menor significa um maior caudal nos fluxos de admissão à UCI, aumentando conseqüentemente o fluxo óbitos. A sua equação é:

$$\begin{aligned} \text{Morrendo na UCI} \left[\frac{\text{pacientes}}{\text{dia}} \right] = & \quad (4.12) \\ = & \frac{\text{Internados UCI}}{\text{Tempo de permanência}} \times \frac{\text{Taxa mortalidade UCI}}{100} \left[\frac{\text{pacientes} \times \%}{\text{dias} \times \%} \right] \end{aligned}$$

A variável “Internados UCI” é um nível e será descrita em pormenor mais adiante. Representa o número de pacientes internados na UCI num determinado instante.

O fluxo “Dando alta vivos” representa o número de pacientes que recebem alta da UCI com vida, por unidade de tempo. No diagrama ele é função das variáveis “Morrendo na UCI”, do “Tempo de permanência”, e do nível “Internados UCI”. A sua equação é:

$$\begin{aligned} \text{Dando alta vivos} \left[\frac{\text{pacientes}}{\text{dia}} \right] = & \quad (4.13) \\ = & \frac{\text{Internados UCI}}{\text{Tempo de permanência}} \left[\frac{\text{pacientes}}{\text{dia}} \right] \times \left(1 - \frac{\text{Taxa mortalidade UCI}}{100} \right) \left[\frac{\%}{\%} \right] \end{aligned}$$

É tentador desejar escrever os fluxos “Morrendo UCI” e “Dando alta vivos” em função de um atraso. Após serem admitidos, os pacientes passam um período de tempo internados e findo esse período abandonam a UCI (vivos ou mortos). Tempo médio até alta vivo poderia ser o tempo médio de permanência, mas o tempo médio até óbito teria ser outra variável. Estes tempos têm claramente uma natureza estocástica, e pelas razões apresentadas anteriormente não é possível escrever um modelo contínuo coerente incluindo estes atrasos. De facto, a partir das duas equações anteriores percebe-se que o ritmo a que os pacientes deixam a UCI depende do inverso do “Tempo de permanência”. Por exemplo, para um “Tempo de permanência” de 10 dias, 10% dos pacientes internados são libertados a cada passo de simulação ($\frac{1 \text{ dia}}{10 \text{ dias}}$).

O nível “Internados UCI” representa o número de pacientes que estão internados na UCI em determinado instante. Dadas as particularidades da linguagem por níveis e fluxos, a sua equação é:

$$\begin{aligned} \text{Internados UCI[pacientes]} = & \int (\text{Admitindo E} [\frac{\text{pacientes}}{\text{dia}}] + \text{Admitindo U} [\frac{\text{pacientes}}{\text{dia}}] \\ & - \text{Morrendo na UCI} [\frac{\text{pacientes}}{\text{dia}}] - \text{Dando alta vivos} [\frac{\text{pacientes}}{\text{dia}}]) \times dt \end{aligned} \quad (4.14)$$

O fluxo “Pedindo reinternamentos” representa o número de pedidos para admissão urgente por motivo de recaída, por unidade de tempo. O termo “reinternamento” diz respeito a pelo menos uma segunda admissão à UCI por parte de um paciente. Para se considerar que um reinternamento, o seu pedido de admissão tem de ser colocado no máximo 48 horas após a anterior alta da Unidade.

No modelo, uma fracção dos pacientes que recebem alta vivos da UCI vêm a recair no seu estado de saúde, resultado em pedidos de reinternamento. Esta fracção é representada pela variável “Taxa de pedidos de reinternamento”, em percentagem. A Figura 4-9 inclui um atraso na definição do fluxo “Pedindo recaídas”. Formalmente, isto está correcto e coerente com o que se tem escrito sobre a utilização de atrasos no modelo. Este atraso parece ser exógeno a quaisquer estados do sistema. Note-se que neste ponto não se pretende discutir o que leva um paciente a sentir uma recaída no seu estado de saúde, mas quais são os factores que condicionam o “tempo até recaída” (este atraso, no modelo). Neste ponto nada sugere que quaisquer das variáveis modeladas tenha influência sobre este atraso, e por isso este é tido como constante. Uma vez que o “Tempo até recaída” médio tem de ser inferior a 48 horas, o seu valor não terá nenhum impacto nas decisões sobre o sistema no dia-a-dia, já que alterações nessas decisões ocorrem com uma frequência muito menor. Concluindo, a inclusão ou não deste atraso não tem qualquer impacto sobre a qualidade da modelação. Foi incluído por uma questão de correcção formal.

O fluxo “Pedindo reinternamentos” é escrito à custa da função “Pipeline delay” (DELAYPPL):

$$\begin{aligned} \text{Pedindo reinternamentos} = & \\ = & \text{DELAYPPL}[\text{Dando alta vivos}, \text{Tempo até recaída}, 0] \times \frac{\text{Taxa de pedidos de reinternamento}}{100} \end{aligned} \quad (4.15)$$

Ou seja, “Pedindo reinternamentos” toma o valor do fluxo “Dando alta vivos”, após um atraso “Tempo até recaída”, multiplicado pela “Taxa de pedidos de reinternamento”, em percentagem. O “0”

na função significa que o fluxo em definição toma o valor “0” no instante inicial da simulação. Verificando a coerência das unidades, sem o atraso:

$$\begin{aligned} \text{Pedindo reinternamentos} \left[\frac{\text{pedidos}}{\text{dia}} \right] &= \\ &= \text{Dando alta vivos} \times \frac{\text{Taxa de recaídas}}{100} \left[\frac{\text{pacientes} \times \%}{\%} \right] \times \frac{1}{1} \frac{[\text{pedidos}]}{1 [\text{pacientes}]} \end{aligned} \quad (4.16)$$

O nível “Cuidados a jusante” serve apenas para ligar os fluxos “Dando alta vivos” e “Pedindo reinternamentos”. Não pretende representar o número de pacientes encontrado no IPO, em outro nível de cuidados, em determinado instante. Mesmo sem este nível o modelo matemático está correcto, já que ele não entra na definição de nenhuma variável e esta linguagem permite escrever fluxos exclusivamente em função de outros. Foi mantido por ser a representação gráfica adequada para explicar de onde vêm os pedidos de reinternamento.

O modelo matemático sobre os níveis e fluxos do processo está completo. No entanto há ainda perguntas por responder sobre as outras variáveis, nomeadamente sobre a sua definição – Será que são constantes? Dependem de outras variáveis? Por exemplo, a “Taxa de rejeição de pedidos urgentes” parece depender de outras variáveis no sistema, como a quantidade de pedidos colocados, o tempo médio de permanência ou o número de camas na UCI; ou a taxa de mortalidade na UCI parece depender exclusivamente do tempo médio de permanência. Havendo dados históricos, anuais por exemplo, seria possível relacionar taxa de mortalidade e tempo de permanência na UCI. Infelizmente os dados disponíveis encontram-se agrupados e, à data desta tese, apenas existem estatísticas colectadas, pelo software de gestão da UCI, para um período de cerca de ano e meio. O próximo passo acrescenta ao simulador as variáveis e as relações em falta para que a representação do sistema esteja completa.

A Figura 4-10 mostra como a variável “Disponibilidade para receber electivos” guarda o número máximo de pacientes que podem ser admitidos à UCI via pedidos electivos, a cada passo de simulação. Na sua definição entram duas novas variáveis – “N camas” e “Taxa de ocupação média”.

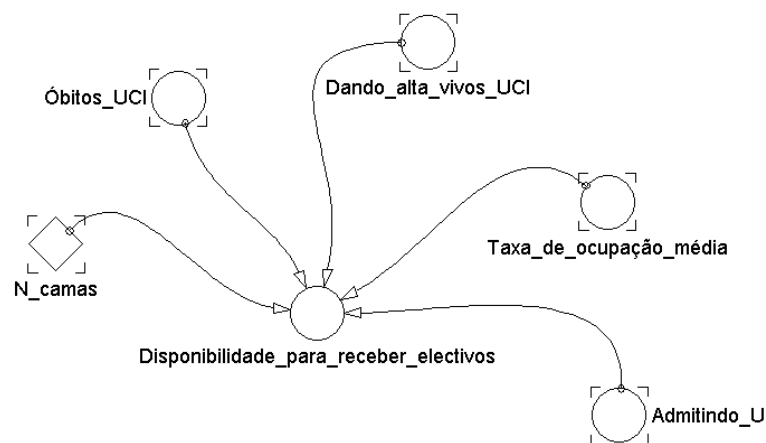


Figura 4-10: Variável “Disponibilidade para receber electivos”.

“N camas” representa o número de camas instaladas na UCI, e “Taxa de ocupação média” a proporção, em percentagem, do número de camas ocupadas na UCI. A seguinte equação define “Disponibilidade para receber electivos”:

$$\begin{aligned} \text{Disponibilidade para receber electivos } \left[\frac{\text{pacientes}}{\text{dia}} \right] &= & (4.17) \\ &= N \text{ camas} \times \frac{\text{Taxa de ocupação média}}{100} \times \frac{1}{1} \left[\frac{\text{camas} \times \% \times \text{paciente}}{\% \times \text{cama} \times \text{dia}} \right] + \\ &+ \text{Dando alta vivos UCI } \left[\frac{\text{pacientes}}{\text{dia}} \right] + \text{Óbitos UCI } \left[\frac{\text{pacientes}}{\text{dia}} \right] - \text{Admitindo U} \left[\frac{\text{pacientes}}{\text{dia}} \right] \end{aligned}$$

Nesta equação, ao número máximo que a UCI comporta é acrescentado o daqueles que vão partir nesse passo de simulação e subtraídas as admissões urgentes, já que estas têm prioridade face às electivas. A fracção $\frac{1}{1}$ indica que uma cama só pode ser ocupada por um paciente por dia¹⁴.

Outra variável a acrescentar é o “Desvio às necessidades dos pacientes”. Esta variável mede quão próximo está a UCI de satisfazer as “Necessidades dos pacientes” – outra variável. Estas são as mesmas variáveis representadas no DCC do capítulo 4.2. Definição do problema recorrendo a um Diagrama de Ciclo Causal.

Digamos que as necessidades dos pacientes se podem medir exclusivamente em dias de permanência, já que tudo o resto é constante – não está em cima da mesa aumentar o pessoal da Unidade ou comprar melhor equipamento, por exemplo. Note-se que no caso de existência de uma Unidade de Intermédios este tempo pode ser reduzido. “Necessidades dos pacientes” e “Desvio às necessidades dos pacientes” medem-se em dias. Assim sendo, “Desvio às necessidades dos pacientes” é dada por:

$$\begin{aligned} \text{Desvio às necessidades dos pacientes [dias]} &= & (4.18) \\ &= \text{Necessidades dos pacientes [dias]} - \text{Tempo de permanência [dias]} \end{aligned}$$

No simulador contínuo, tem a seguinte representação gráfica:

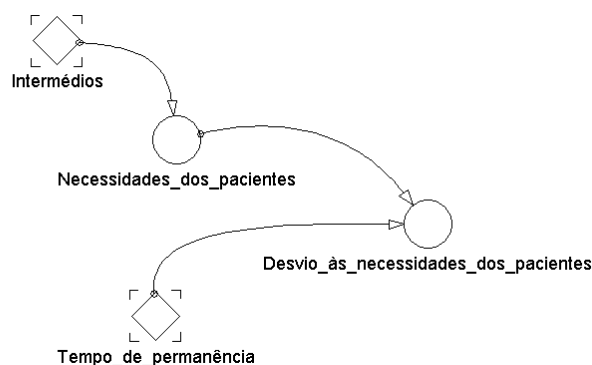


Figura 4-11: Desvio às necessidades dos pacientes.

¹⁴ De facto isto não é completamente verdade. A mesma cama pode ser ocupada por mais do que um paciente por dia. Esta discrepância é compensada se no cálculo da taxa de ocupação média isto for tido em conta.

Na Figura 4-11, as “Necessidades dos pacientes” dependem da existência de cuidados intermédios, capturada na variável “Intermédios”. “Intermédios” toma o valor “0” se não existir uma unidade de cuidados intermédios, ou o valor “1” no caso de existir.

Para este caso de estudo, na situação de não existência de cuidados intermédios, “Necessidades dos pacientes” toma o valor de 13,35 dias, ou seja, a situação actual de tempo médio de permanência¹⁵. Na situação de existência de cuidados intermédios, as “Necessidades dos pacientes” em termos de dias de permanência serão menores.

Se a Administração do hospital culpabiliza o pessoal da UCI pela má performance desta Unidade é de esperar que existam algumas métricas estabelecidas sobre como avaliar esta performance. De facto, a Administração do hospital não parece ter objectivos quanto à performance da UCI¹⁶. Estas medidas de performance poderiam ser, por exemplo, o número de admissões anuais, a taxa de rejeição de pedidos, ou o tempo médio de permanência. Mas como um dos pilares do problema é a incapacidade da responsável da UCI em satisfazer as exigências da Administração é necessário incluir uma variável no modelo que meça o “Desvio às exigências da Administração”¹⁷. A equação proposta é a seguinte:

$$\text{Desvio às exigências da Administração}[\%] = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\text{Obs } M_i}{\text{Nom } M_i} - 1 \right)}{n} \times 100[\%] \quad (4.19)$$

Onde:

Nom M_i , é o valor nominal (objectivo) para a i -ésima métrica.

Obs M_i , é o valor observado para a i -ésima métrica.

n , é o número de métricas.

Ou seja, “Desvio às exigências da Administração” é o valor médio dos desvios, em %, nas “ n ” métricas. Por exemplo, considere-se a existência de apenas uma métrica, o “Tempo de permanência”, com valor nominal de 10 dias. A observação de 13,35 dias de “Tempo de permanência” corresponde a um valor para “Desvio às exigências da Administração” de 33,5%.

Fica mostrado como incluir o “Desvio às exigências da Administração” para um caso geral. A equação podia ser refinada incluindo pesos para cada termo do somatório, indicando que certas métricas são mais importantes que outras. Nesse caso o denominador “ n ” é substituído pelo somatório dos pesos. Também se podia ser escolhido um modelo multiplicativo em vez de aditivo.

¹⁵ O valor médio actual observado é de 13,61 dias. Mas como se verá mais à frente, a calibração do simulador discreto foi feita com um tempo médio de permanência de 13,35, um pequeno desvio, -1,9%, sobretudo quando comparado com a enorme variabilidade dos dados.

¹⁶ Em conversa com o Presidente do Conselho de Administração do hospital foi fácil concluir que este desconhece os valores do tempo de espera, taxa de rejeição de pedidos, admissões anuais ou tempo de permanência.

¹⁷ Corresponde à “Diferença para as exigências da Administração” no DCC do capítulo 4.2. Definição do problema recorrendo a um Diagrama de Ciclo Causal.

No presente caso de estudo, não existem valores de objectivo estabelecidos para as métricas. Mesmo assim, a nível demonstrativo, inclui-se o “Desvio às exigências da Administração” em função do “Tempo de permanência”. A equação é:

$$\begin{aligned} \text{Desvio às exigências da administração [\%]} &= \\ &= \left(\frac{\text{Tempo de permanência}}{\text{Tempo de permanência nominal}} \left[\frac{\text{dias}}{\text{dias}} \right] - 1 \right) \times 100[\%] \end{aligned} \quad (4.20)$$

Com a seguinte representação gráfica em Powersim:

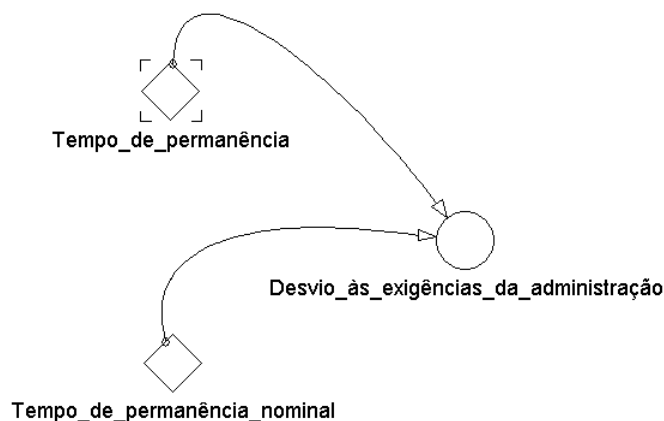


Figura 4-12: Desvio às exigências da administração.

A “Taxa de pedidos de reinternamento” depende do “Tempo de permanência” e da existência ou não de cuidados “Intermédios”. Actualmente são muito raros¹⁸ os pedidos de reinternamento, por isso, para a ausência de cuidados intermédios, e para um tempo médio de permanência de 13,35 dias, esta taxa é aproximadamente nula. Também dispomos de outro ponto desta função em R³, a responsável da UCI é capaz de estimar qual o tempo de permanência necessário para não haver recaídas, caso exista uma unidade de cuidados intermédios¹⁹. Existem duas maneiras de estimar a função:

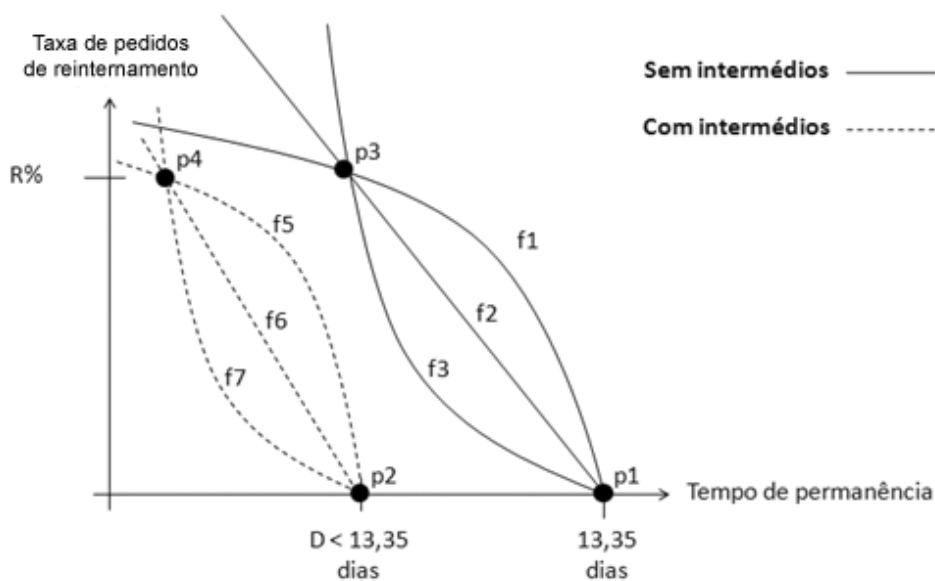
1. Para um mesmo estado de “Intermédios”, a responsável da UCI (ou um outro utilizador) estima um outro ponto da função e faz-se passar uma recta, ou outra curva adequada²⁰, pelos dois pontos.
2. Não se insere qualquer função para a “Taxa de recaídas” em função do “Tempo de permanência” ou da existência de cuidados “Intermédios”. Ao invés disso, deixa-se o utilizador do simulador ajustar esta taxa, manualmente, em função dos valores seleccionados para as variáveis anteriores.

A Figura 4-13 mostra o resultado esperado ao se seguir a primeira abordagem.

¹⁸ Cerca de 1 por semestre.

¹⁹ Estimado em 8 a 10 dias.

²⁰ Provavelmente com segunda derivada positiva.

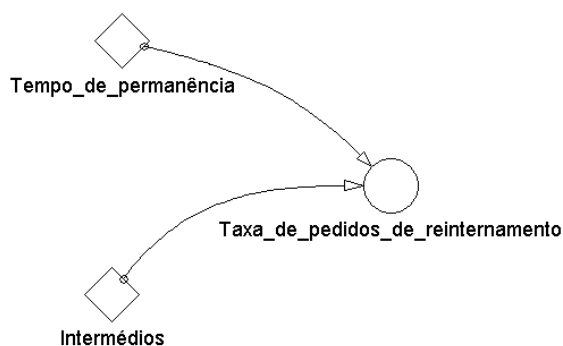


ornamento.

O ponto “p1” é observável. “D” é o “Tempo de permanência” que se estima poder vir a atingir sem recaídas, quando se introduzir uma unidade de cuidados intermédios (“p2”). “p3” e “p4” são outros dois pontos estimados nas curvas “Taxa de recaídas” em função do “Tempo de permanência”, de acordo com a existência ou não de Cuidados “Intermédios”. As curvas “f1”, “f2”, “f3”, “f4”, “f5” e “f6” representam ajustamentos possíveis no Powersim. Note-se que o procedimento discutido nesta abordagem mantém-se válido qualquer que seja a ordenada dos pontos “p1” e “p2”.

Na segunda abordagem, deixa-se o utilizador fixar a “Taxa de recaídas” cada vez que alterar o “Tempo de permanência” ou a existência de Cuidados “Intermédios”.

A representação gráfica no modelo para a “Taxa de recaídas” em função do “Tempo de permanência” é:



Falta incluir como a “Taxa mortalidade UCI” varia com o “Tempo de permanência”. Segundo a Audit Commission (1999), um menor “Tempo de permanência” leva a uma menor “Taxa

Mortalidade UCI”, pois pacientes que já iam morrer de qualquer modo fazem-no agora fora da UCI. O procedimento para apurar esta relação pode ser o mesmo que o proposto para apurar a relação entre “Taxa de recaídas” e “Tempo de permanência”. A sua representação gráfica é:



Figura 4-15: Taxa de mortalidade.

Há que acrescentar no modelo uma representação de como evoluem a “Motivação” e os “Conflitos” em função do estado do sistema. Primeiro há que definir quais as variáveis que os condicionam.

Em conversa com o pessoal médico da UCI decidiu-se representar a “Motivação” em função do “Tempo de permanência”, da “Taxa de pedidos de reinternamento”, e dos “Conflitos”. Os “Conflitos” por sua vez serão função da “Taxa de pedidos de reinternamento”, da “Taxa de rejeição de pedidos urgentes”, do tempo que os pacientes passam na lista de espera para admissão à UCI, definido como “Tempo de espera”, e da “Taxa de abandono da fila de espera”.

Quanto à “Motivação”, saber que os pacientes estão internados mais tempo do que o necessário é desmotivante para quem trabalha na UCI. Por outro lado, se se observarem pedidos de reinternamento isso também é desmotivante porque é sinal de que as hipóteses de sobrevivência dos pacientes não estão maximizadas. O terceiro factor explicativo da “Motivação” é o nível de “Conflitos”. Trabalhar num ambiente conflituoso é desmotivante.

Quanto aos “Conflitos”, uma “Taxa de pedidos de reinternamento” elevada é motivo para discórdia entre o pessoal da UCI e a Administração do hospital. A responsável da UCI quer aumentar o “Tempo de permanência”, mas a Administração exige que o seu valor continue baixo. Uma “Taxa de rejeição de pedidos urgentes” elevada também causa “Conflitos” no sistema. Não só o pessoal da UCI é considerado incompetente por não conseguir ter camas livres, como dá azo a competição entre serviços pelos recursos da UCI. Isto leva a que alguns serviços pensem que a UCI tem preferência por determinado tipo de pacientes. O “Tempo de espera” e a “Taxa de abandono da fila de espera” também condicionam os “Conflitos”, embora tenham sido considerados como tendo um menor peso, quando comparados com as duas primeiras variáveis.

A “Motivação” e os “Conflitos” não têm unidades. Por isso, decide-se tratar estas variáveis como índices, correspondendo o valor 100 aos valores actuais verificados nas suas respectivas variáveis explicativas. Uma alteração nas variáveis explicativas conduz a uma alteração nestes índices. Propõe-se ainda que estes índices dependam de uma média ponderada das suas variáveis explicativas.

Na realidade, “Motivação” e “Conflitos” não se alteram instantaneamente. É necessária a continuada observação de uma situação favorável ou desfavorável para que isso tenha impacto na

“Motivação” ou nos “Conflitos”. Este facto será tido em conta no modelo. Cada uma destas variáveis desdobra-se em duas – uma guarda a média ponderada das variáveis explicativas respectivas em cada instante da simulação (“Motivação In” ou “Conflitos In”), e a outra representa o nível de “Motivação” ou “Conflitos” afectados por um atraso (“Motivação Out” ou “Conflitos Out”), para esse instante da simulação. Escolhe-se representar este atraso como exponencial amortecido. A representação da “Motivação” e dos “Conflitos” no modelo é então a seguinte:

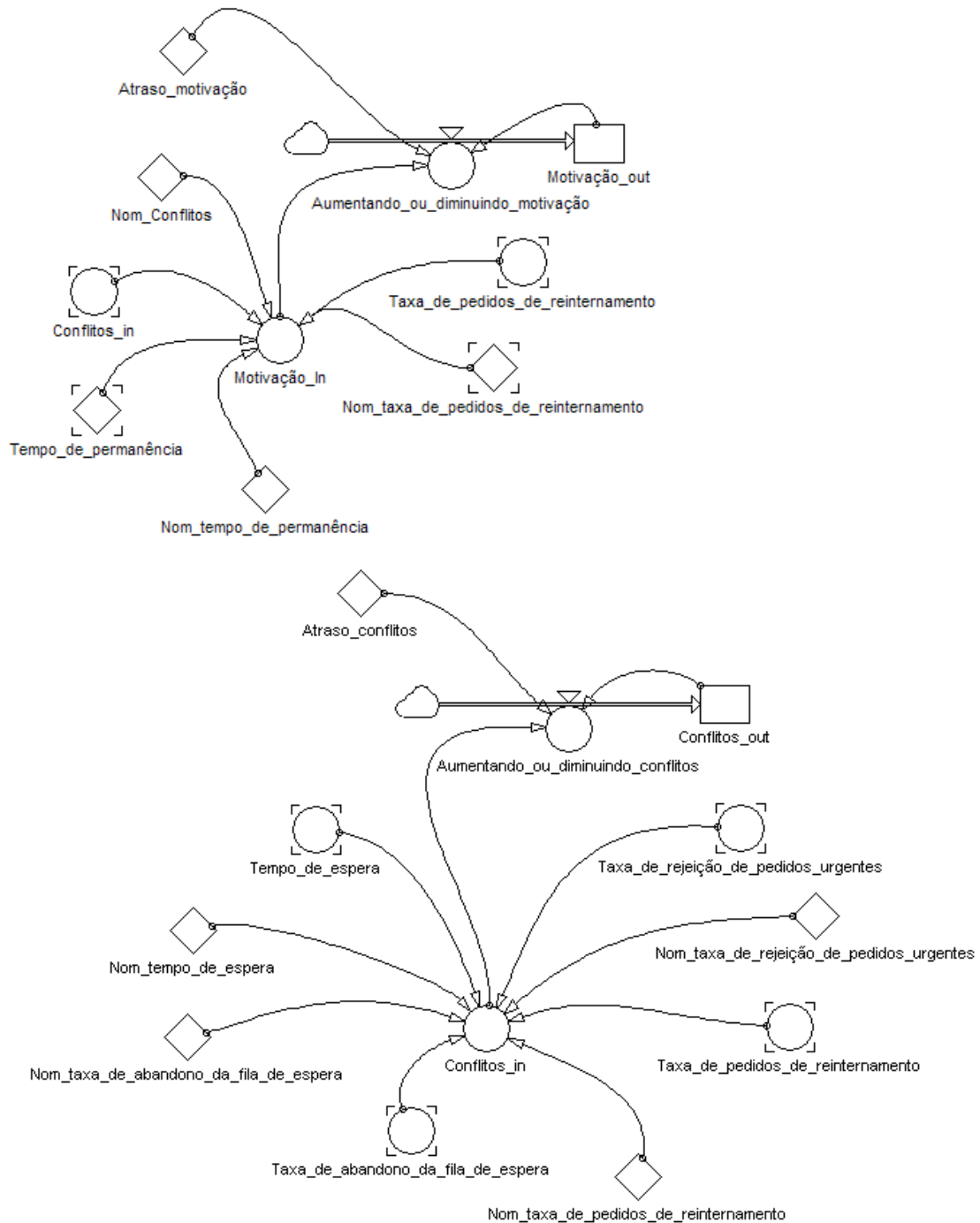


Figura 4-16: Motivação e Conflitos.

As equações escolhidas são:

$$\text{Motivação out} = \int (\text{Aumentando ou diminuindo motivação } [t^{-1}]) \times dt \quad (4.21)$$

$$\text{Aumentando ou diminuindo motivação} = \frac{\text{Motivação In} - \text{Motivação Out}}{\text{Atraso motivação}} [t^{-1}] \quad (4.22)$$

$$\begin{aligned} \text{Motivação In} &= \quad (4.23) \\ &= \frac{\left[a_1 \times \frac{\text{Nom conflitos}}{\text{Conflitos}} + a_2 \times \frac{\text{Nom taxa de pedidos de reinternamento}}{\text{Taxa de pedidos de reinternamento}} + a_3 \times \frac{\text{Nom tempo de permanência}}{\text{Tempo de permanência}} \right]}{a_1 + a_2 + a_3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Conflitos out} &= \int (\text{Aumentando ou diminuindo conflitos } [t^{-1}]) \times dt \\ \text{Conflitos out} &= \int (\text{Aumentando ou diminuindo conflitos } [t^{-1}]) \times dt \end{aligned} \quad (4.24)$$

$$\text{Aumentando ou diminuindo conflitos} = \frac{\text{Conflitos In} - \text{Conflitos Out}}{\text{Atraso conflitos}} [t^{-1}] \quad (4.25)$$

$$\text{Conflitos In} = \quad (4.26)$$

$$\begin{aligned} &= [b_1 \times \frac{\text{Taxa de rejeição de pedidos urgentes}}{\text{Nom Taxa de rejeição de pedidos urgentes}} + \\ &+ b_2 \times \frac{\text{Taxa de pedidos de reinternamento}}{\text{Nom taxa de pedidos de reinternamento}} + \\ &+ b_3 \times \frac{\text{Tempo de espera}}{\text{Nom tempo de espera}} + \\ &+ b_4 \times \frac{\text{Taxa de abandono da fila de espera}}{\text{Nom taxa de abandono da fila de espera}}] \div [b_1 + b_2 + b_3 + b_4] \end{aligned}$$

Os a_i e os b_i representam os pesos relativos das i -ésimas variáveis explicativas.

Para a “Motivação” ou os “Conflitos” melhorarem é necessária a observação de uma evolução positiva em todas as variáveis explicativas. Um único factor negativo pode ser suficiente para impedir um melhor índice de “Motivação” ou de “Conflitos”. Este mecanismo é incluído no modelo. As equações anteriores para “Motivação In” e “Conflitos In” só se verificam se todas as variáveis explicativas tiverem evoluído em sentido favorável. Então, a final representação no modelo é a seguinte:

$$\begin{aligned} \text{Motivação In} &= \quad (4.27) \\ &= \text{IF}[\text{MIN} \left[\frac{\text{Nom conflitos}}{\text{Conflitos}}, \frac{\text{Nom taxa de pedidos de reinternamento}}{\text{Taxa de pedidos de reinternamento}}, \frac{\text{Nom tempo de permanência}}{\text{Tempo de permanência}} \right] < 1, \\ &\text{MIN} \left[\frac{\text{Nom conflitos}}{\text{Conflitos}}, \frac{\text{Nom taxa de pedidos de reinternamento}}{\text{Taxa de pedidos de reinternamento}}, \frac{\text{Nom tempo de permanência}}{\text{Tempo de permanência}} \right], \\ &\left. \frac{\left[a_1 \times \frac{\text{Nom conflitos}}{\text{Conflitos}} + a_2 \times \frac{\text{Nom taxa de pedidos de reinternamento}}{\text{Taxa de pedidos de reinternamento}} + a_3 \times \frac{\text{Nom tempo de permanência}}{\text{Tempo de permanência}} \right]}{a_1 + a_2 + a_3} \right] \end{aligned}$$

A função “MIN” devolve a coordenada mínima de um vector. Na equação acima, se alguma dessas coordenadas for inferior a 1, isso significa que pelo menos uma das variáveis explicativas da

“Motivação” evoluiu desfavoravelmente, então “Motivação In” toma esse mínimo. Caso contrário, aplica-se a equação da média ponderada. Para os “Conflitos”, o raciocínio é análogo:

$$\begin{aligned}
 \text{Conflitos In} &= & (4.28) \\
 &= \text{IF}[\text{MAX}[\frac{\text{Taxa de rejeição de pedidos urgentes}}{\text{Nom Taxa de rejeição de pedidos urgentes}}, \frac{\text{Taxa de pedidos de reinternamento}}{\text{Nom taxa de pedidos de reinternamento}}, \\
 &\quad \frac{\text{Tempo de espera}}{\text{Nom tempo de espera}}, \frac{\text{Taxa de abandono da fila de espera}}{\text{Nom taxa de abandono da fila de espera}}] > 1, \\
 &\text{MAX}[\frac{\text{Taxa de rejeição de pedidos urgentes}}{\text{Nom Taxa de rejeição de pedidos urgentes}}, \frac{\text{Taxa de pedidos de reinternamento}}{\text{Nom taxa de pedidos de reinternamento}}, \\
 &\quad \frac{\text{Tempo de espera}}{\text{Nom tempo de espera}}, \frac{\text{Taxa de abandono da fila de espera}}{\text{Nom taxa de abandono da fila de espera}}], \\
 &[b_1 \times \frac{\text{Taxa de rejeição de pedidos urgentes}}{\text{Nom Taxa de rejeição de pedidos urgentes}} + \\
 &+ b_2 \times \frac{\text{Taxa de pedidos de reinternamento}}{\text{Nom taxa de pedidos de reinternamento}} + \\
 &+ b_3 \times \frac{\text{Tempo de espera}}{\text{Nom tempo de espera}} + \\
 &+ b_4 \times \frac{\text{Taxa de abandono da fila de espera}}{\text{Nom taxa de abandono da fila de espera}}] \div [b_1 + b_2 + b_3 + b_4]
 \end{aligned}$$

A função “MAX” devolve a coordenada máxima de um vector. Se alguma dessas variáveis for superior a 1, isso significa que pelo menos uma das variáveis explicativas evoluiu em sentido desfavorável. Nesse caso, “Conflitos In” toma o valor desse máximo. Caso contrário aplica-se a equação da média ponderada.

Neste ponto só falta definir como variam quatro variáveis no sistema – “Taxa de rejeição de pedidos urgentes”, “Taxa de ocupação média”, “Tempo de espera”, e “Taxa de abandono da fila de espera”. Estas variáveis parecem depender do nível de stress no sistema. Devem depender do tempo médio de permanência, do número de pedidos colocados por ano, e do número de camas disponíveis na UCI. A única maneira de estimar estas relações é construindo um submodelo de simulação por eventos discretos. Far-se-á passar uma recta de regressão linear multi-variada pelos resultados do modelo, e assim obter uma equação que explique a “Taxa de rejeição de pedidos urgentes”, “Taxa de ocupação média”, “Tempo de espera”, e “Taxa de abandono da fila de espera” em função do “Tempo de permanência”, “N camas”, “Pedidos electivos” e do total de pedidos urgentes²¹.

Aquando da construção da interface para o simulador, será necessário acrescentar variáveis para recolha de estatísticas. Estas variáveis estão desligadas do modelo principal, e a sua definição será feita no 4.8. Construção de um interface para o utilizador.

²¹ “Pedindo urgentes”x365 dias.

4.6.2. Submodelo discreto

O propósito deste passo é conseguir explicar a taxa de rejeição de pedidos urgentes, a taxa de ocupação média, o tempo de espera, e a taxa de abandono da fila de espera em função do tempo médio de permanência, do número de camas na Unidade, dos pedidos electivos anuais e dos pedidos urgentes anuais.

Neste modelo, a UCI corresponde a uma área de serviço com “n” servidores, onde “n” é o número de camas instaladas na Unidade. Existem dois geradores entidades para o sistema, um para pedidos electivos e outro para pedidos urgentes. Depois da actividade de serviço na UCI, as entidades abandonam o sistema. Este é o esqueleto básico do processo. No entanto existem três fenómenos que vêm complicar de forma significativa o processo – os pedidos urgentes têm prioridade sobre os electivos; existe um tempo que decorre entre a disponibilização de uma vaga para um paciente electivo e a sua admissão, sendo que nesse hiato temporal, se for colocado um pedido urgente este tem prioridade; e é necessário representar o abandono da fila de espera por parte dos pacientes electivos. A Figura 4-17 representa o fluxograma do processo.

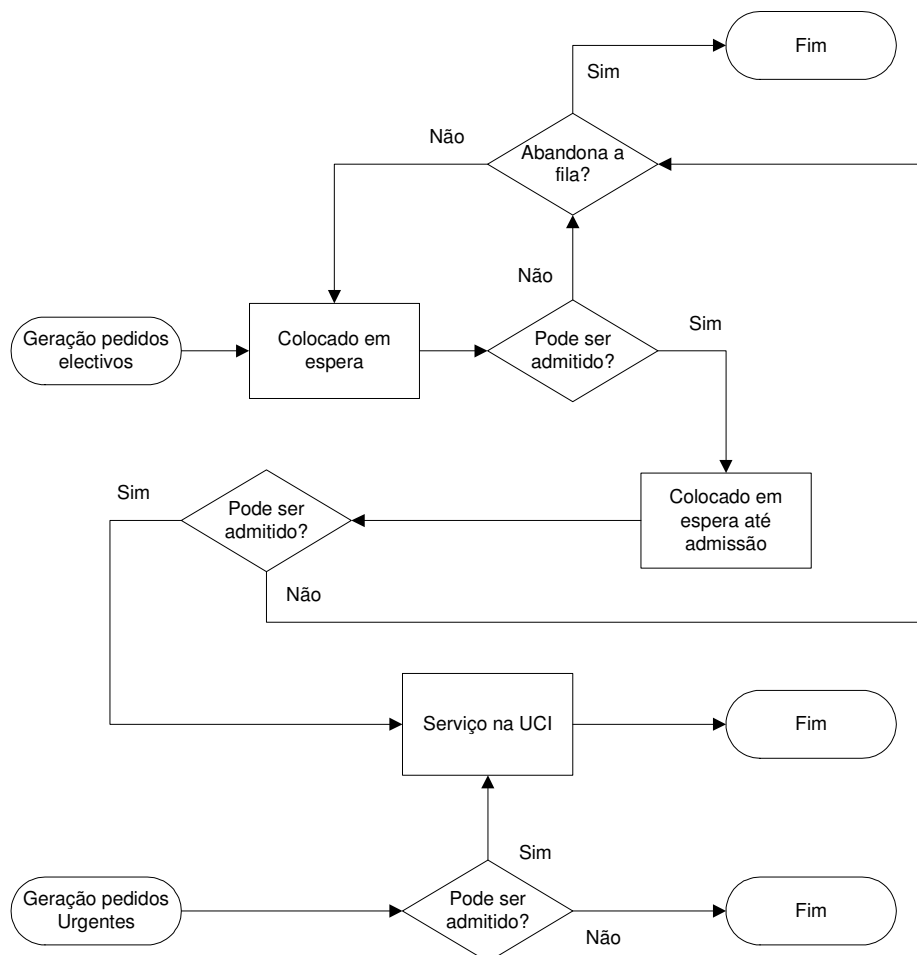


Figura 4-17: Fluxograma do processo.

De acordo com a representação da Figura 4-17, quando um pedido urgente chega é imediatamente feito um teste lógico para averiguar se existe uma cama livre na UCI ou não. Se não existir cama, o paciente é imediatamente rejeitado e abandona o sistema. Se existir cama livre, ele é imediatamente admitido na UCI. Findo o período de internamento, ele abandona o sistema. Quando um pedido electivo chega, ele é colocado numa fila de espera. Com uma dada frequência é determinado se existe vaga na UCI para receber o paciente. Se não existir vaga, é efectuado um teste lógico para verificar se o paciente abandona a fila. Quando mais tempo tiver passado na fila, mais provável é que a venha a abandonar. Uma vez verificada como positiva a existência de vaga, o paciente entra numa actividade que representa o tempo que medeia entre disponibilizar a vaga e a sua admissão, pelas razões já discutidas anteriormente. Findo esse período volta a ser testada a existência de vaga na UCI, pois, no entretanto, um pedido urgente pode ter sido colocado. Se a segunda verificação de vaga for positiva, ele é finalmente admitido, caso contrário volta à fila se passar um teste lógico sobre se abandona a fila ou não.

O fluxograma da Figura 4-17 é então implementado em AweSim, e acrescentando-se algumas variáveis globais e atributos das entidades ficamos com um modelo completo. Uma imagem da programação em AweSim está disponível no Anexo A. Far-se-á agora uma descrição da programação feita. Começa-se por explicar o significado das variáveis globais e dos atributos das entidades.

Variáveis globais:

XX[1], guarda o número de camas disponíveis na UCI, em determinado instante da simulação.

XX[2], guarda o número de pedidos electivos que já foram colocados, em determinado instante da simulação.

XX[3], guarda o número de pedidos urgentes que já foram colocados, em determinado instante da simulação.

XX[4], guarda o número de pacientes urgentes que já foram admitidos, em determinado instante da simulação.

XX[5], guarda o número de pedidos urgentes que já foram rejeitados, em determinado instante da simulação.

XX[6], guarda o número de pacientes que já foram admitidos, em determinado instante da simulação.

XX[7], guarda o número de pacientes electivos que já foram admitidos, em determinado instante da simulação.

XX[8], guarda o número de pacientes electivos que já abandonaram a fila de espera, em determinado instante da simulação.

Atributos das entidades:

ATRIB[1], guarda o tempo que um paciente electivo já passou na fila de espera.

ATRIB[2], guarda um valor auxiliar para um teste lógico sobre se o paciente electivo abandona ou não a fila de espera.

ATRIB[3], guarda o tempo que o paciente esteve internado em UCI.

A descrição da programação feita no AweSim tem como referência a Figura A - 1 do Anexo A.

Os pedidos electivos são criados no nó CREATE, “Pedindo electivos”. O tempo entre chegadas segue uma distribuição exponencial com valor esperado igual ao número de dias no ano, 365, a dividir pelo número de pedidos por ano. Daí, a entidade segue para o nó QUEUE, “IPO M1 QUEUE 1”. “Pelo caminho”, o contador de pedidos electivos é incrementado no primeiro nó ASSIGN, lido no nó COLLECT, e é guardado no ATRIB[1] da entidade o tempo de chegada ao sistema, no segundo nó ASSIGN.

É colocado um nó GOON imediatamente à saída da fila “IPO M1 QUEUE 1” e ligados por uma actividade de duração nula. Deste modo as entidades nunca esperam na fila de espera. Isto é necessário para despoletar o mecanismo que verifica se a entidade, pedido electivo, abandona ou não o sistema. Primeiro, é feito um teste lógico, “IF”, para verificar se existe pelo menos uma cama vaga na UCI, “XX[1]≥1”. Em caso afirmativo, a entidade segue para uma actividade com duração 1.46 dias (no diagrama), que simula o tempo médio que decorre entre ser disponibilizada a vaga para um paciente electivo e a sua admissão. Na Figura A - 1, esse valor está fixo em 1.46 dias. Esse foi um valor encontrado aquando da calibração do modelo. De forma geral, vamos chamar a esse intervalo de tempo “T”. Finda essa actividade, é novamente testada a existência de vaga na UCI, “XX[1]≥1”. Em caso afirmativo, a entidade é finalmente conduzida para a actividade que corresponde ao serviço de internamento na UCI. Na Figura A - 1, essa actividade aparece identificada com a duração “EXPON(8)²²”.

Da fila de espera para os pedidos electivos até à admissão na UCI, a entidade passa por uma série de nós ASSIGN e COLLECT. No primeiro nó ASSIGN é incrementado o contado de admissões electivas, “XX[7]”. Depois o valor é lido no nó COLLECT identificado com o número “8”. No nó ASSIGN seguinte, é guardado o tempo que a entidade passou na fila de espera, sendo de seguida esse valor lido no nó COLLECT, imediatamente à frente. Depois, é decrementado o contado de camas na UCI, “XX[1]”, no nó ASSIGN “IPO M1 ASSIGN 1”. No nó ASSIGN seguinte é guardo o instante de admissão do paciente à UCI, e no seguinte incrementado o contador de admissões, “XX[6]”, e o seu valor lido no COLLECT, imediatamente à frente.

Depois de efectuada actividade na UCI, é registado o tempo de internamento no ASSIGN imediatamente a seguir, o seu valor lido no nó COLLECT e libertada uma cama, “XX[1]”. Depois disso a entidade é destruída no nó TERMINATE.

Mas, como mostra o diagrama, sempre que a entidade falha o teste de existência de vaga, ela entra num novo teste lógico sobre se abandona a fila de espera. Esse teste faz-se comparando o tempo que a entidade já passou no sistema, “TNOW-ATRIB[1]”, com um valor aleatório exponencial com valor esperado “E”, 23000 no diagrama. Quanto mais tempo a entidade passa no sistema mais provável é que venha a abandonar a fila de espera. Se o tempo que já passou no sistema for menor que o valor de comparação aleatório, então volta para a fila, caso contrário abandona-a.

²² A notação escolhida pelo AweSim para representação de distribuições difere da notação utilizada academicamente quando se fala de probabilidade. “EXPON(8)”, em AweSim, significa distribuição exponencial de valor esperado “8”, ao passo que num ambiente académico significa distribuição exponencial com parâmetro “8”, a que corresponde um valor esperado de $\frac{1}{8}$.

Para os pedidos urgentes, a representação é mais simples. As entidades são criadas no nó CREATE “Pedindo urgentes”. O número de pedidos electivos, “XX[3]”, é incrementado no nó ASSIGN e lido no nó COLLECT. Quando a entidade chega ao nó GOON é efectuado um teste lógico. Se existir uma cama livre na UCI, “XX[1]≥1”, o paciente é admitido, o contador de admissões urgentes, “XX[4]”, é incrementado e lido, e a entidade vai para o nó “IPO M1 ASSIGN 1”. Caso contrário, “XX[1]<1”, a entidade é removida do sistema. Passa pelo nó “IPO M1 ASSIGN 2” onde é incrementado o contado de pedidos rejeitados, “XX[5]”, que será lido no COLLECT seguinte. Finalmente a entidade é destruída no nó TERMINATE.

No início do diagrama existe uma representação que permite registar a taxa de ocupação média da UCI. É criada uma entidade a cada 0,25 unidades de tempo, o valor da taxa de ocupação é lido, $\frac{6-XX[1]}{6}$, onde 6 é o número de camas. Depois da leitura a entidade é destruída.

Os parâmetros “T” e “E” vão permitir calibrar o modelo. No *run* de calibração tenta-se que o modelo reproduza o mais aproximadamente possível os dados correspondentes à situação actual.

Neste submodelo, a unidade de simulação corresponde a 1 dia. Cada simulação corresponderá a 365 dias, ou 1 ano. Embora estejamos interessados em comportamentos médios, não é adequado fazer um *run* de simulação de, por exemplo, 1000 anos, e depois retirar o valor médio para 1 ano, pois isso inviabilizaria a aplicação de uma regressão linear multivariada (RLM) aos resultados. A RLM exige que a cada observação esteja associado um erro aleatório. O erro é necessário para os procedimentos inferenciais, como intervalos de confiança ou testes de hipótese. Se os resultados fossem “pontos médios” isso implicava estar a fazer intervalos de confiança para “a média da média”, por exemplo.

Espera-se uma grande variância nos resultados, mesmo para o mesmo input de simulação. Para garantir o menor enviesamento possível, a fila de espera é inicializada com 4 pacientes, simulando 4 pacientes internados no instante inicial²³, e o instante de chegada dos primeiros pedidos ao sistema também é aleatório.

4.7. Calibração para o caso de estudo em mãos

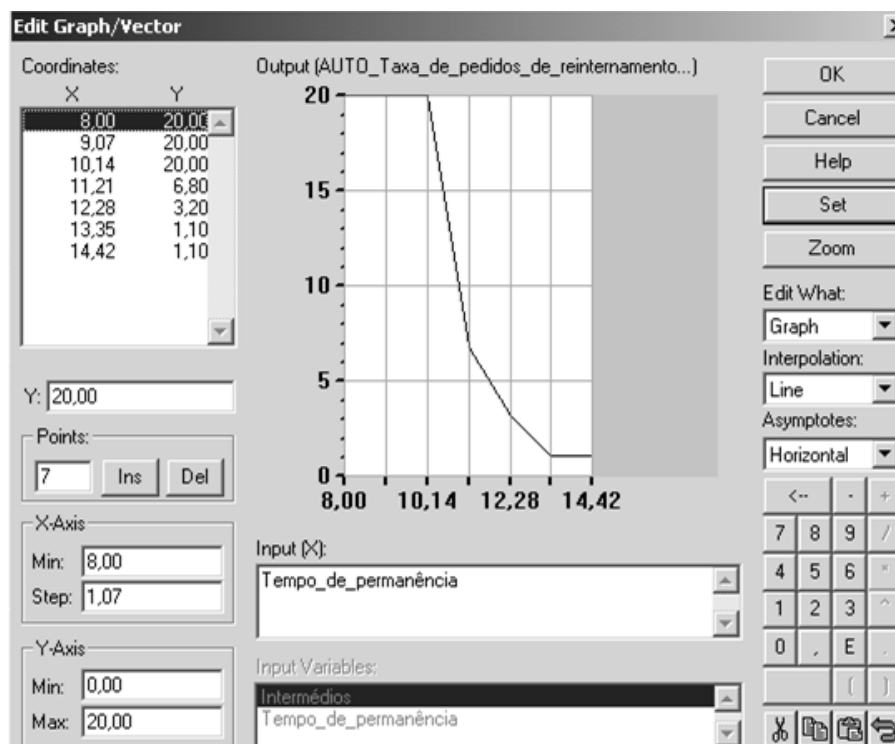
4.7.1. Modelo contínuo

No modelo contínuo há que calibrar a relação entre “Taxa de pedidos de reinternamento” e o “Tempo de permanência” e os “Intermédios”, a relação entre a “Taxa de mortalidade UCI” com o “Tempo de permanência” e os pesos para as variáveis explicativas da “Motivação” e dos “Conflitos”. No submodelo contínuo, há que calibrar os valores dos parâmetros “E” e “T” de modo a que o *run* de calibração consiga reproduzir o melhor possível os valores actualmente observados nas variáveis a monitorizar.

Pediu-se ao pessoal médico da UCI para representar como varia a “Taxa de pedidos de reinternamento” com o “Tempo de permanência”. Para a situação actual de 13,35 dias de tempo médio de internamento, o valor observado para a “Taxa de pedidos de reinternamento” é

²³ De facto, no instante “T”.

extremamente baixo, estimado em 1 pedido por semestre, ou seja, de acordo com os dados disponíveis, 1 pedido a cada 91 altas com vida, 1,1%. Pensa-se que seria possível de praticar 8 a 10 dias de tempo médio internamento se existisse uma Unidade de Cuidados Intermédios. Pediu-se a estimativa para esta “Taxa de pedidos de recaídas” caso o tempo médio de permanência descesse para 8 a 10 dias. O valor consensual encontrado foi 20%. Quanto à forma da função foi consensual desenhar uma curva com segunda derivada positiva. Ou seja, a variação na “Taxa de pedidos de reinternamento” com o “Tempo de permanência” é muito mais acentuada para menores valores desse mesmo tempo. A função inserida graficamente no PowerSim foi a seguinte:



anência.

Pedimos que fosse repetido o procedimento, desta vez para um cenário de existência de uma Unidade de Cuidados Intermédios. Foi-nos dito que não fazia sentido prever um tempo médio de permanência abaixo dos 8 a 10 dias, por isso, nesse cenário a “Taxa de pedidos de reinternamento” fixa-se no baixo valor observado actualmente, 1,1%.

Esperávamos seguir um procedimento semelhante para a calibração da “Taxa mortalidade UCI” em função do “Tempo de permanência”, mas foi-nos dito que isso não faria sentido. Aumentar o “Tempo de permanência” para garantir que os pacientes suportam o nível de cuidados a jusante não impacta sobre a “Taxa de mortalidade UCI”. Desde que a gravidade média dos pacientes se mantenha razoavelmente constante no tempo. Podemos assumir que a “Taxa de mortalidade UCI” toma um valor constante, correspondendo ao observado actualmente, 25,6%.

Quanto aos pesos das variáveis explicativas para a “Motivação” e os “Conflitos” ficou decidido que quanto à “Motivação”, a “Taxa de pedidos de reinternamento” e o “Tempo médio de

permanência são igualmente importantes e cinco vezes mais importantes que os “Conflitos”. Então, de acordo com a nomenclatura escolhida na definição da variável “Motivação”, $a_1 = 1, a_2 = a_3 = 5$.

Quanto aos “Conflitos”, ficou decidido que a “Taxa de pedidos de reinternamento” e a “Taxa de rejeição de pedidos urgentes” eram igualmente importantes, tendo o dobro da importância do “Tempo de espera” e da “Taxa de abandono da fila de espera”. Então, de acordo com a nomenclatura escolhida na definição da variável “Conflitos”, $b_1 = b_2 = 2, b_3 = b_4 = 1$.

No que respeita os atrasos no modelo, o “Tempo até recaída” é fixado em 2 dias, e os atrasos para a “Motivação” e “Conflitos” são fixados ambos em 90 dias.

4.7.2. Submodelo discreto

No submodelo discreto é necessário calibrar quais os valores de “T” e “E” que permitem uma boa reprodução dos valores actuais das variáveis a monitorizar. Começa-se por mostrar os dados disponíveis.

Alguns dados estão disponíveis documentalmente e outros são estimados pela responsável da UCI. Outros ainda, têm de ser inferidos a partir dos estimados e dos disponíveis documentalmente.

Os dados disponíveis documentalmente foram obtidos a partir do software de gestão da UCI e encontram-se compilados na Tabela 4-2²⁴.

Tabela 4-2: Dados disponíveis a partir do software de gestão da UCI.

	2007 (365 dias)	2008 (184 dias)	2008 (est.) (366 dias)	Total (549 dias)	Média por ano (365,25 dias)
Admissões electivas	74	32	63.65	106	70.52
Admissões urgentes	56	22	43.76	78	51.89
Total admissões	130	54	107.41	184	122.42
Dias de internamento	1593	911	1812.10	2504	1665.91
Tempo médio de permanência	12.25	16.87	16.87	...	13.61
Taxa de ocupação	87.3%	99.0%	99.0%	...	91.2%

Como se pode constatar, os dados disponíveis são poucos não só em termos de horizonte temporal como de variáveis. A variabilidade dos dados também é grande.

Os registos disponíveis sobre os pedidos de vaga à UCI e seu desenlace são muitíssimo incompletos e chegou-se à conclusão, juntamente com a responsável da UCI, serem inúteis como dados para um simulador²⁵. Sabe-se que existem mais pedidos colocados no Natal e Fevereiro, mas o seu impacto no sistema é reduzido, segundo a responsável da UCI.

Para elaborar o submodelo discreto é necessário estimar as funções chegada de pedidos urgentes e de pedidos electivos. Isto pode ser feito a partir das admissões urgentes e electivas se soubermos a “Taxa de rejeição de pedidos urgentes” e a “Taxa de abandono da fila de espera”,

²⁴ Ao longo da tese o “.” e a “,” têm sempre o significado de separador decimal. Não é mantida uniformidade na representação por softwares diferentes utilizarem convenções diferentes.

²⁵ A análise desses registos está disponível no Anexo 1.

respectivamente. Pediu-se à responsável da UCI que estimasse estas taxas, assim como o “Tempo de espera” médio. Essas estimativas estão compiladas na Tabela 4-3.

Tabela 4 - 3: Dados estimados pela responsável da UCI.

Taxa de rejeição de pedidos urgentes	cerca de 50%
Taxa de pacientes electivos que abandonam a fila de espera	cerca de 10%
Tempo de espera para admissão de electivos	7 a 10 dias, com grande variabilidade.

O número de pedidos por ano pode ser estimado dividindo o número de admissões pelas taxas de rejeição ou abandono correspondentes.

Tabela 4 - 4: Estimação de pedidos.

Pedidos urgentes por ano	103.78
Pedidos electivos por ano	78.36
Total de pedidos por ano	182.14

É agora necessário definir critérios para determinar quando o simulador se encontra satisfatoriamente calibrado. Para as variáveis cujos valores foram obtidos documentalmente a variação permitida é de $\pm 2\%$, exceptuando as variáveis “Tempo de permanência” e “Taxa de ocupação média” que por serem função de outras variáveis vêm os seus limites inferior e superior também o serem. Para as variáveis estimadas – “Taxa de rejeição de pedidos urgentes” e “Taxa de abandono da fila de espera” – admite-se uma variação máxima de $\pm 20\%$. Ao tempo de espera permite-se que varie dentro do intervalo dado pela responsável. Para os limites das variáveis estimadas da Tabela 4-4 aplica-se o mesmo raciocínio que para o “Tempo de permanência” e “Taxa de ocupação média”. Os limites estão sintetizados na Tabela 4-5.

Tabela 4- 5: Limites das variáveis para calibração.

	Limite inferior	Média	Limite superior
Admissões electivas	69.11	70.52	71.93
Admissões urgentes	50.85	51.89	52.93
Total admissões	119.96	122.42	124.86
Tempo médio de permanência	13.34	13.61	13.88
Dias de internamento	1600.03	1665.91	1733.31
Taxa de ocupação	87.6%	91.2%	94.9%
Taxa de rejeição de pedidos urgentes	40%	50%	60%
Taxa de abandono da fila de espera	8%	10%	12%
Pedidos urgentes por ano	84.75	103.78	132.32
Pedidos electivos por ano	75.12	78.36	81.74
Total de pedidos por ano	159.87	182.14	214.06
Tempo de espera para admissão de electivos	7	8.5	10

O *run* de calibração representa 1000 anos de operação de forma a evitar o viés de inicialização e a minimizar a relevância de valores espúrios que possam surgir.

Assim sendo, conseguiu-se calibrar o modelo com os valores constantes na Tabela 4-6:

Tabela 4- 6: Valores calibrados para os parâmetros.

Parâmetro	Valor
Número de pedidos electivos por ano	75,7
Número de pedidos urgentes por ano	126,5
Tempo médio de permanência	13,35 (dias)
T	1,46 (dias)
E	23000

Para estes parâmetros, os resultados do simulador são os seguintes:

Tabela 4-7: Resultados do submodelo discreto para os valores de calibração.

Variável	Valor simulado	Desvio à média
Admissões electivas	69.117	-1.99%
Admissões urgentes	51.389	-0.97%
Total admissões	120.506	-1.56%
Tempo médio de permanência	13.369	-1.77%
Dias de internamento	1611.04	-3.29%
Taxa de ocupação	88.2%	-3.29%
Taxa de rejeição de pedidos urgentes	59.5%	19.05%
Taxa de abandono da fila de espera	8.1%	-18.82%
Pedidos urgentes por ano	126.963	22.34%
Pedidos electivos por ano	75.224	-4.00%
Total de pedidos por ano	202.187	11.01%
Tempo de espera para admissão de electivos	9.963	17.21%

Face aos resultados considera-se o processo de calibração completo.

4.7.3. Regressões lineares

O objectivo deste ponto é obter uma regressão linear que explique a “Taxa de rejeição de pedidos urgentes”, “Taxa de abandono da fila de espera”, “Tempo de espera”, e “Taxa de ocupação”, em função dos pedidos electivos, dos pedidos urgentes, do tempo médio de permanência, e do número de camas na UCI.

Para conseguir este objectivo é necessário correr *runs* do submodelo discreto em que a distribuição das variáveis explicativas (*inputs*) esteja dentro da gama de variação que interessa estudar. Para o tempo médio de permanência interessa o intervalo de 8 a 13,35 dias; para o número de camas apenas a variação entre 5 e 6 camas; o número de pedidos urgentes médio assume-se constante; e finalmente achou-se apropriado correr *runs* para dois valores médio de pedidos electivos, já que se especula que a introdução de uma Unidade de Cuidados Intermédios possa vir a diminuir a sensação de dependência do pessoal de cirurgia e anestesia, em relação à UCI. Decide-

se correr 18 runs para cada combinação diferente dos *inputs*. A Tabela 4-8 mostra as 16 combinações criadas.

Tabela 4 - 8: Simulações.

Código de Simulação	N.º de camas na UCI	N.º de pedidos electivos por ano	Tempo médio de permanência
1	5	75,7	13,35
2	5	75,7	12
3	5	75,7	10
4	5	75,7	8
5	5	65	13,35
6	5	65	12
7	5	65	10
8	5	65	8
9	6	75,7	13,35
10	6	75,7	12
11	6	75,7	10
12	6	75,7	8
13	6	65	13,35
14	6	65	12
15	6	65	10
16	6	65	8

O valor de 65 para a média do número de pedidos electivos colocados por ano representa uma diminuição de 14,2% face à situação actual calibrada e 17,1% face à absoluta. Pensa-se que os ganhos em redução do número de pedidos colocados possa ser dessa ordem de grandeza.

Com os 18 *runs* para cada simulação da Tabela 4-8 espera-se conseguir uma boa nuvem de pontos em torno dos valores que interessa estudar. Um total de 288 pontos são gerados em R⁸.

Os resultados individuais para cada *run* podem ser consultados e dispersão da nuvem de pontos podem ser consultados no Anexo B.

Os modelos obtidos são apresentados a seguir.

$$\begin{aligned} \text{Taxa de abandono da fila de espera [\%]} &= & (4.29) \\ &= -5,258 + 0,827 \times \text{Tempo de permanência} - 1,671 \times \text{N camas} + 0,069 \times \text{Pedidos electivos} + \\ &+ 0,026 \times \text{Pedidos urgentes} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Taxa de rejeição de pedidos urgentes [\%]} &= & (4.30) \\ &= -3,48 + 5,491 \times \text{Tempo de permanência} - 12,24 \times \text{N camas} + 0,345 \times \text{Pedidos electivos} + \\ &+ 0,214 \times \text{Pedidos urgentes} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tempo de espera [dias]} &= & (4.31) \\ &= -1,86 + 0,814 \times \text{Tempo de permanência} - 1,778 \times \text{N camas} + 0,067 \times \text{Pedidos electivos} + \\ &+ 0,026 \times \text{Pedidos urgentes} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Taxa de ocupação [\%]} &= & (4.32) \\ &= 39,55 + 3,411 \times \text{Tempo de permanência} - 5,204 \times \text{N camas} + 0,209 \times \text{Pedidos electivos} + \\ &+ 0,131 \times \text{Pedidos electivos} \end{aligned}$$

Por definição, as unidades das constantes das equações anteriores são de modo a que as variáveis resposta tenham as unidades apresentadas. As equações inseridas no Powersim são as mesmas. A sua representação gráfica só será mostrada aquando da construção do interface.

Os “Pedidos urgentes” obtêm-se a partir das variáveis já existentes no modelo:

$$\text{Pedidos urgentes} \left[\frac{\text{pedidos}}{\text{ano}} \right] = \text{Pedindo urgentes} \times 365 \left[\frac{\text{pedidos} \times \text{dias}}{\text{dias} \times \text{ano}} \right] \quad (4.33)$$

A seguinte representação gráfica:



Figura 4- 19: Pedidos urgentes.

4.8. Construção de um interface para o utilizador

O interface para o utilizador é desenvolvido também em PowerSim. O interface deve permitir ao utilizados atingir os objectivos da simulação descritos no Capítulo 4.3.

Os outputs de modelos de Dinâmica de Sistemas são geralmente apresentados sob a forma de gráficos no tempo. Um gráfico é um tipo de representação facilmente inteligível por um grande espectro de pessoas com histórias académicas e profissionais diferentes. A utilização de gráficos é particularmente útil quando existem interacções diferidas no tempo, e se pode observar o efeito de decisões precipitadas quando a resposta de *feedback* ainda não se materializou. Um excelente exemplo da utilidade da utilização de gráficos para explicar efeitos diferidos no tempo é o *Beer Game*, (Sterman, 2004)²⁶. A modelação do problema em Dinâmica de Sistemas permite uma boa compreensão do “efeito de chicote” quando existe atraso na informação numa cadeia de abastecimento.

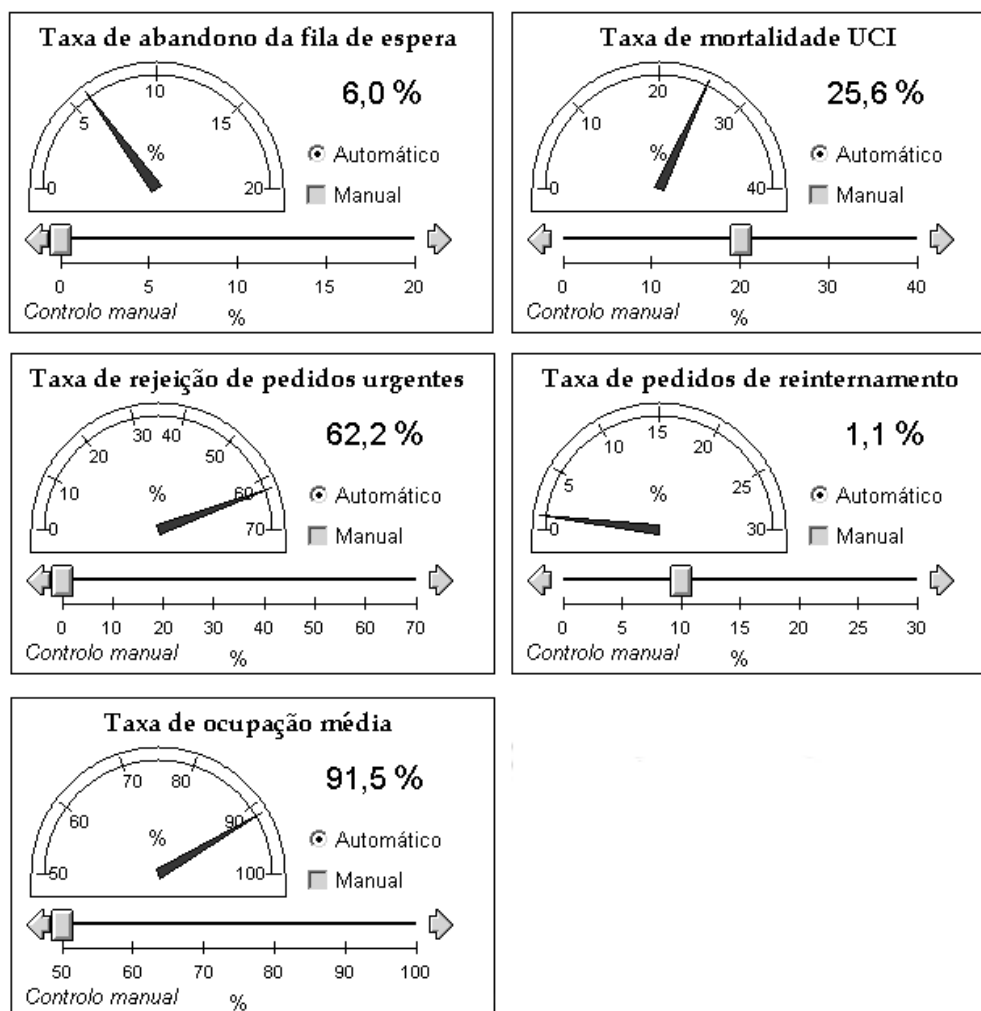
No caso de estudo em mãos não existem atrasos significativos, nem se “ensinou” ao modelo regras de decisão. O atraso “Tempo até recaída” é de apenas 2 dias²⁷. Quando comparado com a frequência das decisões sobre o sistema, o seu efeito não tem qualquer impacto. Os atrasos sobre a “Motivação” e os “Conflitos” indicam apenas que, após a alteração de uma política, o efeito sobre a “Motivação” e os “Conflitos” terá um impacto que só se torna significativo passado algum tempo. O pouco impacto dos atrasos, e a necessidade de representar impactos em relações entre variáveis de “n” para “m”, com “n” e “m” grandes, leva a que se considere de utilidade limitada a representação de gráficos no tempo. O PowerSim é rico o suficiente em objectos de construção de interfaces, como

²⁶ Elaboração sobre a publicação original (Sterman, 1995).

²⁷ Por definição de pedido de reinternamento, este atraso nunca pode ser superior a 48 horas.

botões de rádio, velocímetros, cursores e outros, para que se consiga construir um interface rico e de fácil utilização. No Anexo C pode-se consultar uma visão geral do interface construído.

Escolhe-se o mesmo tipo de interface de input e output para as variáveis “Taxa de abandono da fila de espera”, “Taxa de rejeição de pedidos urgentes”, “Taxa de ocupação média”, “Taxa de mortalidade UCI”, e “Taxa de pedidos de reinternamento”. Atente-se na Figura 4-20.



ndono da fila de
a de mortalidade

Cada sub-interface consiste no título da variável, num velocímetro que aponta o valor da variável para as condições do sistema, um número em grande mostrando o valor da variável para as condições do sistema, dois botões de rádio²⁸ que permitem alternar o input entre automático (calibrado) e manual, e um cursor que permite o ajuste manual da variável tornando-a independente das condições do sistema.

Permite-se que a variação da variável seja automática, de acordo com as condições do sistema, ou seja de acordo com a calibração efectuada; ou então o utilizador pode decidir controlá-la

²⁸ O software chama àquele tipo de representação *radio button*.

manualmente se sentir que o valor retornado automaticamente é desajustado. A possibilidade de controlar manualmente as variáveis permite fazer a análise de sensibilidade directamente no interface.

A aplicação dos botões de rádio implica reformular as equações destas variáveis no PowerSim. A sua representação gráfica é:

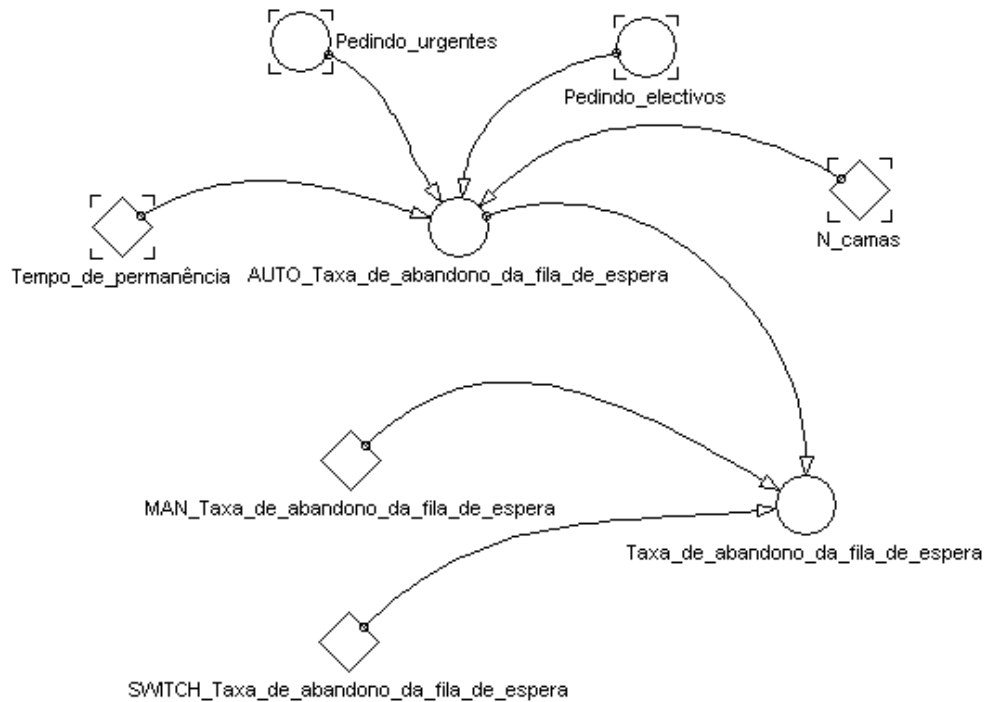


Figura 4- 21: Representação final para Taxa de abandono da fila de espera.

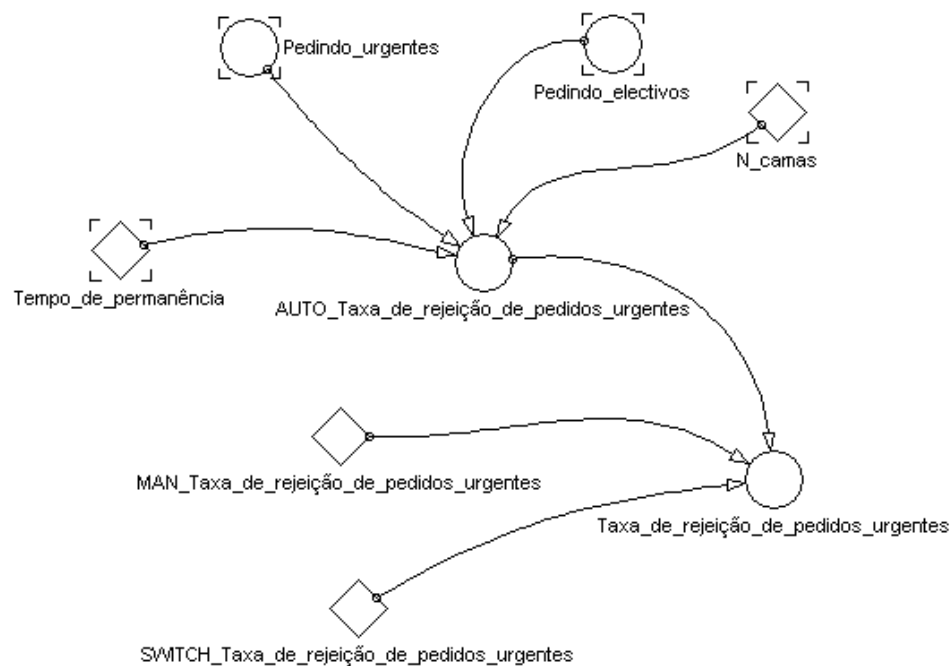


Figura 4- 22: Representação final para Taxa de rejeição de pedidos urgentes.

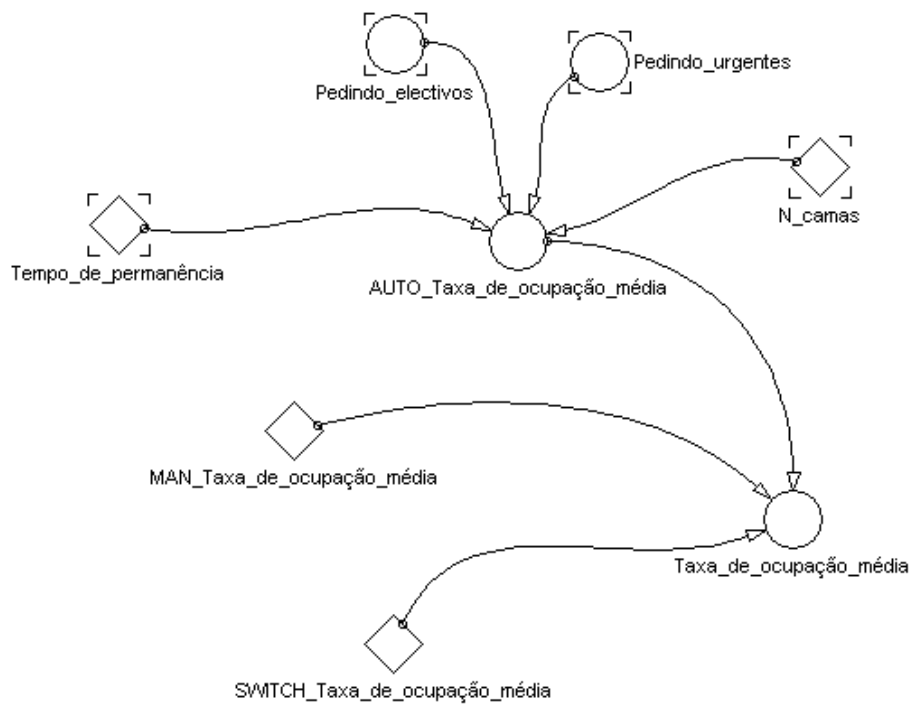


Figura 4- 23: Representação final para Taxa de ocupação média.

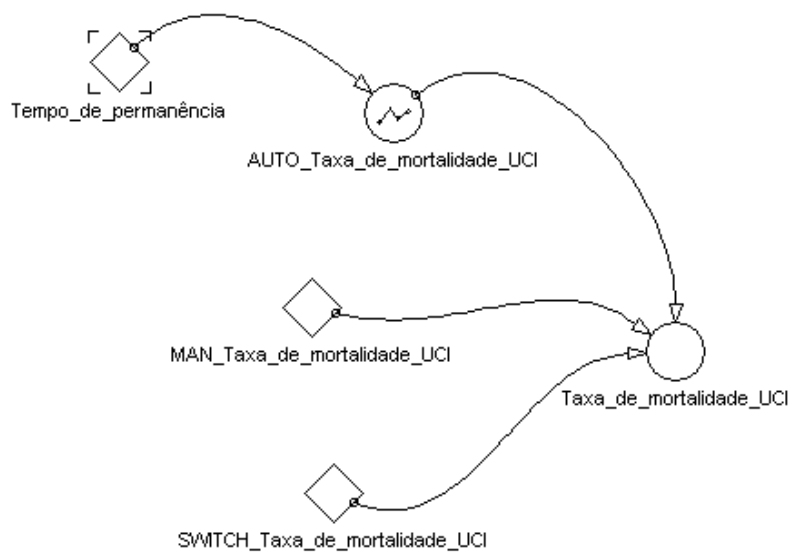


Figura 4- 24: Representação final para Taxa de mortalidade UCI.

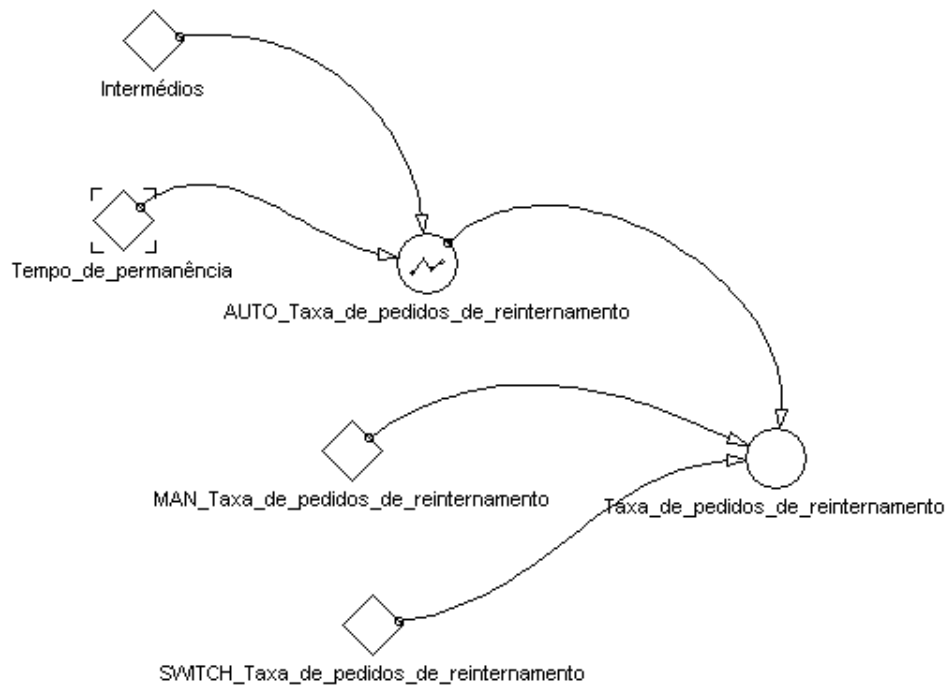


Figura 4- 25: Representação final para Taxa de pedidos de reinternamento.

Nas figuras anteriores, as variáveis “SWITCH (...)” guardam a indicação se o input da variável está a ser feito de forma automática ou manual. Se “SWITCH (...)” é igual a 1 então o input é automático, se é igual a 2, então o input é manual.

As variáveis “MAN (...)” guardam o valor da variável quando o input é feito de forma manual, e as variáveis “AUTO” o valor da variável quando o input é feito de forma automática, de acordo com a calibração efectuada.

Assim sendo, a nova programação das variáveis é:

$$\begin{aligned}
 &\text{Taxa de abandono da fila espera} = && (4.34) \\
 &= [(\text{SWITCH Taxa de abandono da fila de espera}) = 1] \times \text{AUTO Taxa de abandono da fila de espera} + \\
 &+ [(\text{SWITCH Taxa de abandono da fila de espera}) = 2] \times \text{MAN Taxa de abandono da fila de espera}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{AUTO Taxa de abandono da fila de espera} [\%] = && (4.35) \\
 &= -5,258 [\%] + 0,827 \times \text{Tempo de permanência} \left[\frac{\% \times \text{dias}}{\text{dias}} \right] - 1,671 \times \text{N camas} \left[\frac{\% \times \text{camas}}{\text{camas}} \right] + \\
 &+ 0,069 \times \text{Pedindo urgentes} \times 365 \left[\frac{\% \times \text{pedidos} \times \text{dias}}{\text{dias}} \right] + 0,026 \times \text{Pedindo urgentes} \times 365 \left[\frac{\% \times \text{pedidos} \times \text{dias}}{\text{dias}} \right]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{Taxa de rejeição de pedidos urgentes} = && (4.36) \\
 &= [(\text{SWITCH Taxa de rejeição de pedidos urgentes}) = 1] \times \text{AUTO Taxa de rejeição de pedidos urgentes} + \\
 &+ [(\text{SWITCH Taxa de rejeição de pedidos urgentes}) = 2] \times \text{MAN Taxa de rejeição de pedidos urgentes}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{AUTO Taxa de rejeição de pedidos urgentes [\%]} &= & (4.38) \\
&= -3,48 [\%] + 5,491 \times \text{Tempo de permanência} \left[\frac{\% \times \text{dias}}{\text{dias}} \right] - \\
&\quad -12,24 \times \text{N camas} \left[\frac{\% \times \text{camas}}{\text{camas}} \right] + \\
&\quad +0,345 \times \text{Pedindo urgentes} \times 365 \left[\frac{\% \times \text{pedidos} \times \text{dias}}{\text{dias}} \right] + \\
&\quad +0,214 \times \text{Pedindo urgentes} \times 365 \left[\frac{\% \times \text{pedidos} \times \text{dias}}{\text{dias}} \right]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Taxa de ocupação média} &= & (4.39) \\
&= [(\text{SWITCH Taxa de ocupação média}) = 1] \times \text{AUTO Taxa de ocupação média} + \\
&\quad +[(\text{SWITCH Taxa de ocupação média}) = 2] \times \text{MAN Taxa de ocupação média}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{AUTO Taxa de ocupação média [\%]} &= & (4.40) \\
&= 39,55 [\%] + 3,411 \times \text{Tempo de permanência} \left[\frac{\% \times \text{dias}}{\text{dias}} \right] - 5,204 \times \text{N camas} \left[\frac{\% \times \text{camas}}{\text{camas}} \right] + \\
&\quad +0,209 \times \text{Pedindo urgentes} \times 365 \left[\frac{\% \times \text{pedidos} \times \text{dias}}{\text{dias}} \right] + 0,131 \times \text{Pedindo urgentes} \times \\
&\quad 365 \left[\frac{\% \times \text{pedidos} \times \text{dias}}{\text{dias}} \right]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Taxa de mortalidade UCI} &= & (4.41) \\
&= [(\text{SWITCH Taxa de mortalidade UCI}) = 1] \times \text{AUTO Taxa de mortalidade UCI} + \\
&\quad +[(\text{SWITCH Taxa de mortalidade UCI}) = 2] \times \text{MAN Taxa de mortalidade UCI}
\end{aligned}$$

$$\text{AUTO Taxa de mortalidade UCI [\%]} = 25,6 [\%] \quad (4.42)$$

$$\begin{aligned}
\text{Taxa de pedidos de reinternamento} &= & (4.43) \\
&= [(\text{SWITCH Taxa de pedidos de reinternamento}) = 1] \times \text{AUTO Taxa de pedidos de reinternamento} + \\
&\quad +[(\text{SWITCH Taxa de pedidos de reinternamento}) = 2] \times \text{MAN Taxa de pedidos de reinternamento}
\end{aligned}$$

Com “AUTO Taxa de pedidos de reinternamento” definida graficamente.

O output para a “Motivação” e os “conflitos é mostrado através de duas barras horizontais, como se mostra na Figura 4-26.

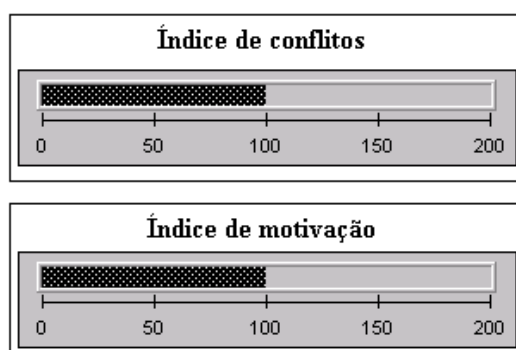
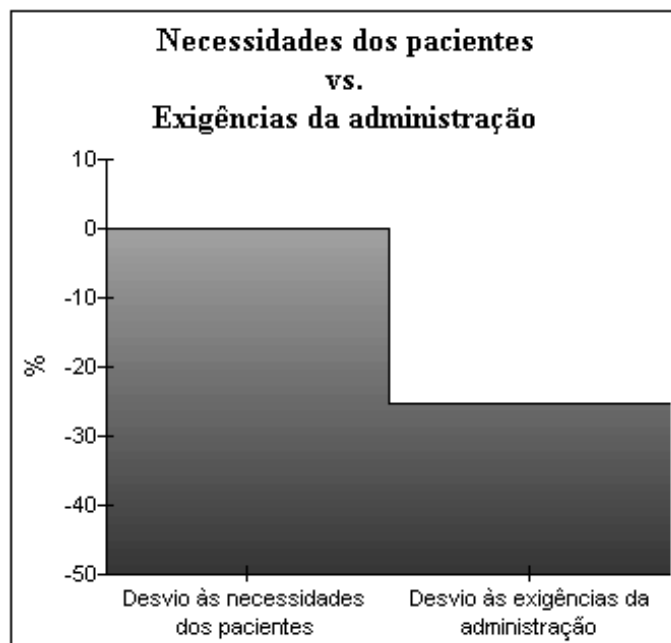


Figura 4- 26: Representação do output para “Motivação” e “Conflitos”.

Quando se alteram as condições do sistema estas barras enchem ou esvaziam de acordo com o sentido de evolução do respectivo índice.

A dicotomia “Diferença para as necessidades dos pacientes” *versus* “Diferença para as exigências da Administração” é ilustrada através de um gráfico de barras.



gências da Administração”.

Com esta representação o utilizador consegue ver quão perto ou longe está de satisfazer as “Necessidades dos pacientes” e as “Exigências da Administração”.

O “Tempo de espera” é simplesmente mostrado na forma da Figura 4-28:

Tempo de espera	8,5	dias
------------------------	------------	-------------

O interface mostra também o número de admissões por tipo, de acordo com as condições no sistema, tal como na Figura 4-29.

Admissões	(pacientes/ano)		
		Valor actual	Variação
Electivas	75,3	71,2	5,7 %
Urgentes	113,4	48,0	136,2 %
Totais	188,6	119,2	58,3 %
Pacientes diferentes	167,9	118,8	41,4 %

O interface mostra o número admissões electivas, urgentes, totais, e pacientes diferentes por ano, e compara-as com o valor observado actualmente²⁹. Assim o utilizador quando faz alterações no sistema, pode ver como elas impactam as admissões.

As admissões são colectadas no modelo contínuo através da seguinte representação:

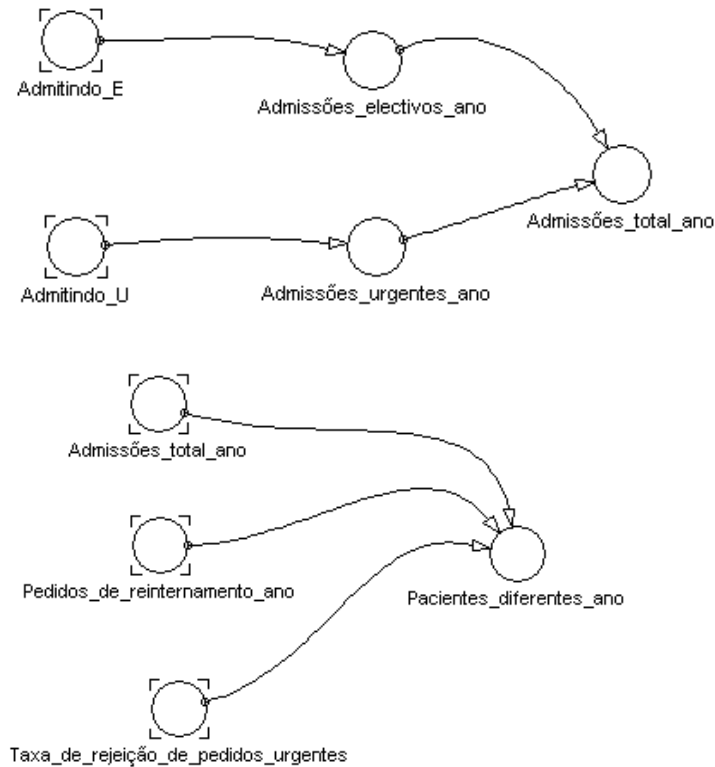


Figura 4- 30: Admissões.

“Admissões electivos ano” representa o número médio de admissões com origem electiva num ano. “Admissões urgentes ano” representa o número médio de admissões com origem urgente num ano. “Admissões total ano” representa o número médio de admissões totais num ano. “Pacientes diferentes” representa o número médio de pacientes diferentes admitidos num ano. As suas equações são:

$$\text{Admissões electivos ano} \left[\frac{\text{pacientes}}{\text{ano}} \right] = \text{Admitindo E} \times 365 \left[\frac{\text{pacientes} \times \text{dias}}{\text{dias} \times \text{ano}} \right] \quad (4.44)$$

$$\text{Admissões urgentes ano} \left[\frac{\text{pacientes}}{\text{ano}} \right] = \text{Admitindo U} \times 365 \left[\frac{\text{pacientes} \times \text{dias}}{\text{dias} \times \text{ano}} \right] \quad (4.45)$$

$$\begin{aligned} \text{Admissões total ano} \left[\frac{\text{pacientes}}{\text{ano}} \right] &= \\ &= \text{Admissões electivos ano} \left[\frac{\text{pacientes}}{\text{ano}} \right] + \text{Admissões urgentes ano} \left[\frac{\text{pacientes}}{\text{ano}} \right] \end{aligned} \quad (4.46)$$

²⁹ Depois de calibrado.

$$\begin{aligned}
\text{Pacientes diferentes } \left[\frac{\text{pacientes}}{\text{ano}} \right] &= & (4.47) \\
&= \text{Admissões total ano } \left[\frac{\text{pacientes}}{\text{ano}} \right] \times \left[1 - \left(1 - \frac{\text{Taxa mortalidade UCI } \left[\frac{\%}{100} \right]}{100} \right) \times \right. \\
&\times \frac{\text{Taxa de pedidos de reinternamento } \left[\frac{\%}{100} \right]}{100} \times \\
&\times \left. \left(1 - \frac{\text{Taxa de rejeição de pedidos urgentes } \left[\frac{\%}{100} \right]}{100} \right) \right]
\end{aligned}$$

As variações para a situação actual têm a seguinte representação gráfica e equações:

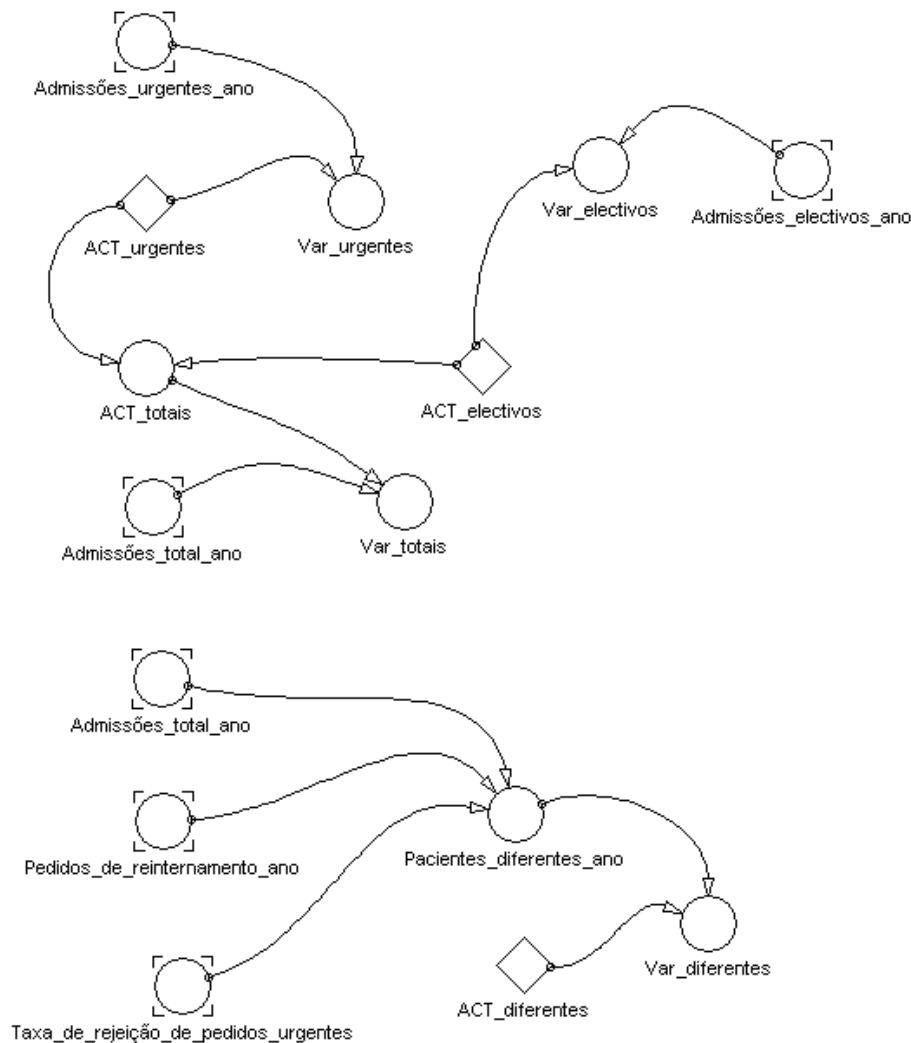


Figura 4- 31: Variação nas admissões.

As variáveis “ACT (...)” guardam os valores actualmente observados para o número de admissões urgentes, electivas, totais, e pacientes diferentes. As variáveis “Var (...)” guardam as variações nessas mesmas variáveis face à situação actual, em percentagem.

$$\text{Var urgentes } [\%] = \left(\frac{\text{Admissões urgentes ano}}{\text{ACT urgentes}} - 1 \right) \times 100[\%] \quad (4.48)$$

$$\text{Var electivos [\%]} = \left(\frac{\text{Admissões electivos ano}}{\text{ACT electivos}} - 1 \right) \times 100[\%] \quad (4.49)$$

$$\text{Var totais [\%]} = \left(\frac{\text{Admissões total ano}}{\text{ACT totais}} - 1 \right) \times 100[\%] \quad (4.50)$$

$$\text{Var diferentes[\%]} = \left(\frac{\text{Pacientes diferentes ano}}{\text{ACT diferentes}} - 1 \right) \times 100[\%] \quad (4.51)$$

O interface também possibilita a configuração de cenários com diferente número de pedidos colocados. Atente-se na Figura 4-32.

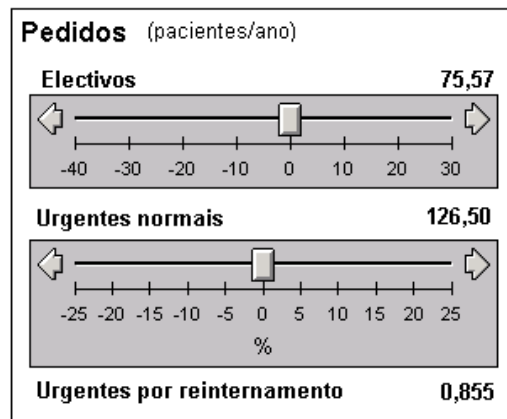


Figura 4- 32: Input para pedidos.

No interface, o utilizador vê o número de pedidos electivos, urgentes normais e por reinternamento, colocados num ano. Se desejar, pode usar os cursores para alterar o número de pedidos electivos e urgentes normais, dentro do limite da nuvem de dados³⁰ dos 288 *runs* do submodelo discreto.

A construção deste sub interface implicou, mais uma vez, acrescentar variáveis e equações no modelo.

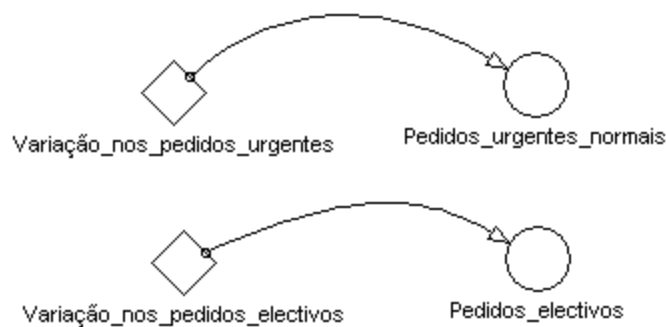


Figura 4- 33: Pedidos.

³⁰ Ver Tabela B – 2 do Anexo B.

$$\begin{aligned} \text{Pedidos urgentes normais } \left[\frac{\text{pedidos}}{\text{ano}} \right] &= \\ &= (126,5 - 0,977) \left[\frac{\text{pedidos}}{\text{ano}} \right] \times \left(1 + \frac{\text{Variação nos pedidos urgentes } \left[\frac{\%}{\%} \right]}{100} \right) \end{aligned} \quad (4.52)$$

$$\text{Pedidos electivos } \left[\frac{\text{pedidos}}{\text{ano}} \right] = 75,7 \left[\frac{\text{pedidos}}{\text{ano}} \right] \times \left(1 + \frac{\text{Variação nos pedidos electivos } \left[\frac{\%}{\%} \right]}{100} \right) \quad (4.53)$$

Onde “126,5” é o número médio anual de pedido urgentes observados actualmente. “0,977”, o número médio de pedidos de reinternamento por ano, estimado numa taxa de pedidos de reinternamento de 1,1%. “75,7”, o número médio de pedidos electivos por ano observado actualmente.

O interface tem de também de possibilitar o input nas variáveis de decisão sobre o sistema – existência ou não de Cuidados Intermédios, “Intermédios”; o número de camas na UCI, “N camas”, e o “Tempo de permanência”.

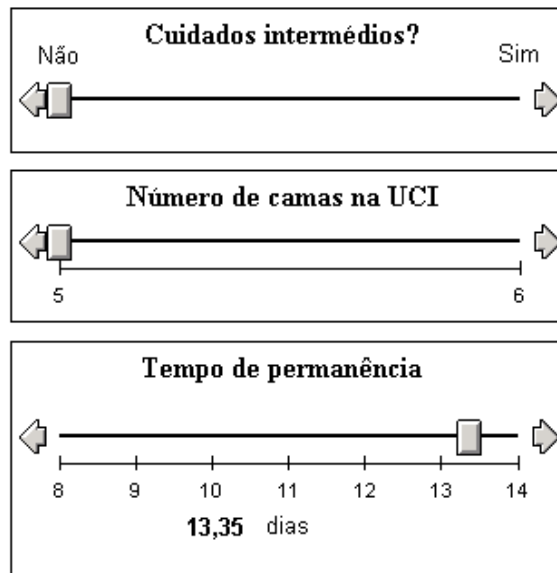


Figura 4- 34: Variáveis de decisão.

A Figura 4-34 mostra a possibilidade de input sobre estas variáveis, na forma de cursores. No cursor do “Tempo de permanência” é autorizada a selecção de fracção de dias, sendo o valor efectivamente colocado, lido abaixo do cursor (13,35 dias).

Finalmente, o último elemento do interface é a tabela para definição de objectivos e sua monitorização, na Figura 4-35.

Objectivos		Diferença
Admissões	150,0 pac./ano	-20,5 %
Taxa de rejeição de pedidos urgentes	10,0 %	521,5 %
Taxa de pedidos de reinternamento	5,0 %	-78,0 %
Tempo de espera	5,0 %	69,8 %

Figura 4- 35: Input de objectivos e monitorização.

Escolheu-se permitir a definição de quatro objectivos para a performance da unidade sob a forma de admissões totais anuais, “Taxa de rejeição de pedidos urgentes”, “Taxa de pedidos de reinternamento”, e “Tempo de espera”. Se o utilizador quiser definir outros objectivos, estes terão de ser acrescentados posteriormente.

Neste subinterface o utilizador define os valores objectivo para aquelas quatro variáveis e pode ler quão longe está de os atingir. Mais uma vez é necessário acrescentar variáveis ao modelo.

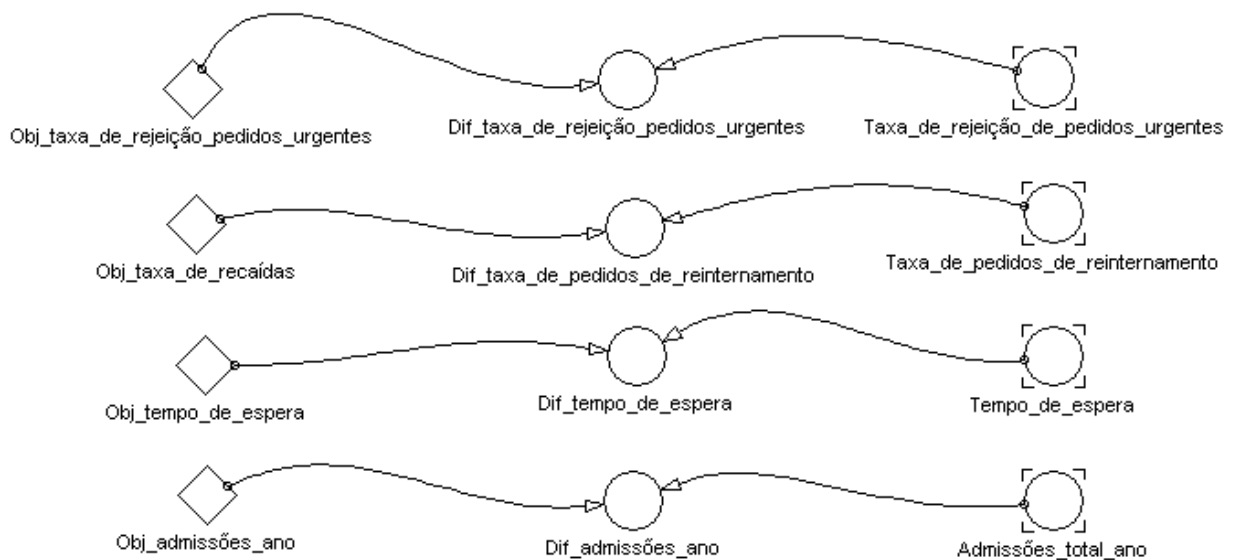


Figura 4- 36: Representação de objetivos.

As variáveis “Obj (...)” guardam o valor de input que o utilizador deu para o objectivo da respectiva variável. As variáveis “Dif (...)” guardam o valor da diferença observada para o objectivo, em percentagem. As equações são:

$$\text{Dif taxa de rejeição de pedidos urgentes [\%]} = 100[\%] \times \left(\frac{\text{Taxa de rejeição de pedidos urgentes}}{\text{Obj taxa de rejeição de pedidos urgentes}} - 1 \right) \quad (4.54)$$

$$\text{Dif taxa de pedidos de reinternamento [\%]} = 100[\%] \times \left(\frac{\text{Taxa de pedidos de reinternamento}}{\text{Obj taxa de pedidos de reinternamento}} - 1 \right) \quad (4.55)$$

$$\text{Dif tempo de espera [\%]} = 100[\%] \times \left(\frac{\text{Tempo de espera}}{\text{Obj tempo de espera}} - 1 \right) \quad (4.56)$$

$$\text{Dif admissões ano [\%]} = 100[\%] \times \left(\frac{\text{Admissões total ano}}{\text{Obj admissões ano}} - 1 \right) \quad (4.57)$$

A construção do interface está concluída.

5. Resultados

5.1. Resposta aos objectivos da simulação

Dimensionamento da UCI

Segue-se o procedimento descrito no capítulo 4.3. Definição dos objectivos da simulação, para tentar apurar o bom dimensionamento da UCI.

A “Taxa de pedidos de reinternamento” é colocada manualmente em 0%, para simular o melhor cenário possível. O “Tempo de permanência” é colocado em 8 dias, o mínimo estimado como adequado e suficiente para servir os pacientes. Mantendo tudo o resto constante, nestas condições o modelo devolve 32,4% para a “Taxa de pedidos de reinternamento”, valor considerado muito longe de um valor admissível, tido como inferior a 10%.

Nestas condições, o resultado obtido para outras variáveis a monitorizar estão na Tabela 5-1.

Tabela 5-1: Resultados sobre dimensionamento da UCI

Inputs		
Variável	Resultado	Variação para situação actual
Taxa de pedidos de reinternamento	0 %	-100%
Tempo de permanência	8 dias	-40,7%
Número de camas	5 camas	0%
Pedidos electivos	75,7 pedidos/ano	0%
Pedidos urgentes normais	125,52 pedidos/ano	0%
Outputs		
Variável	Valor	Variação para situação actual
Taxa de abandono da fila de espera	1,5 %	-74,6%
Taxa de rejeição de pedidos urgentes	32,4%	-47,7%
Taxa de ocupação média	73,0%	-20,1%
Tempo de espera	4,1 dias	-51,8%
Admissões electivas	74,6 pacientes/ano	+4,8%
Admissões urgentes	84,8 pacientes/ano	+75,5%
Admissões totais	159,4 pacientes/ano	+29,4%
Pacientes diferentes	159,4 pacientes/ano	+34,1%

Reduzir o “Tempo de permanência” de 13,35 para 8 dias tem um grande impacto sobre o sistema. Para além do grande impacto sobre a “Taxa de rejeição de pedidos urgentes”, o número de pedidos urgentes rejeitados cai aproximadamente para metade, tendo como consequência o aumento das admissões urgentes em 75,5%. Globalmente, as admissões aumentam em 29,4%. Também se consegue reduzir significativamente o tempo de espera para cerca de metade.

Neste cenário, para se conseguir uma “Taxa de rejeição de pedidos urgentes” inferior a 10%, é necessário reduzir o fluxo de pedidos em 20%.

Passar de 5 para 6 camas disponíveis

O procedimento para averiguação do mau dimensionamento foi repetido, desta vez para 6 camas instaladas em vez de 5.

A “Taxa de pedidos de reinternamento” é colocada manualmente em 0%, para simular o melhor cenário possível. O “Tempo de permanência” é colocado em 8 dias, o mínimo estimado como

adequado e suficiente para servir os pacientes. O número de camas disponíveis é colocado em 6. Mantendo tudo o resto constante, nestas condições o modelo devolve 20,2% para a "Taxa de pedidos de reinternamento". Este valor continua a ser inadmissivelmente alto.

Nas condições descritas no parágrafo anterior, o resultado obtido para outras variáveis a monitorizar estão na Tabela 5-2.

Tabela 5-2: Resultados sobre dimensionamento da UCI com 6 camas

Inputs		
Variável	Resultado	Variação para situação actual
Taxa de pedidos de reinternamento	0 %	-100%
Tempo de permanência	8 dias	-40,7%
Número de camas	6 camas	+20%
Pedidos electivos	75,7 pedidos/ano	0%
Pedidos urgentes normais	125,52 pedidos/ano	0%
Outputs		
Variável	Valor	Variação para situação actual
Taxa de abandono da fila de espera	(0,0 %) ³¹	-100%
Taxa de rejeição de pedidos urgentes	20,2%	-67,5%
Taxa de ocupação média	67,8%	-25,8%
Tempo de espera	2,3 dias	72,9%
Admissões electivas	75,7 pacientes/ano	+6,3%
Admissões urgentes	100,2 pacientes/ano	+108%%
Admissões totais	175,9pacientes/ano	+47,4%
Pacientes diferentes	175,9 pacientes/ano	+47,9%

Com mais uma cama, o impacto no sistema é ainda maior. Os maiores são, mais uma vez, sobre o "Tempo de espera", que cai para cerca de um quarto, a "Taxa de rejeição de pedidos urgentes", o número de admissões urgentes, que mais que duplica, resultando num aumento global de admissões de 47,4%.

Cuidados intermédios

Como os resultados anteriores apontam para o mau dimensionamento da UCI, a introdução desta Unidade não é solução para o problema.

Exploração do comportamento contra intuitivo

Tal como descrito no capítulo 4.2. Definição do problema recorrendo a um Diagrama de Ciclo Causal, existe uma relação crítica entre "Taxa de pedidos de reinternamento" e "Tempo de permanência", a partir da qual pode ser contraproducente diminuir o "Tempo de permanência" tendo em vista atingir as "Exigências da Administração".

Embora reduzir o "Tempo de permanência" resulte numa menor "Taxa de rejeição de pedidos urgentes", será que também resulta em mais pacientes diferentes admitidos por ano? Procura-se saber em que condições, a derivada do número de pacientes diferentes por ano em ordem ao "Tempo de permanência" é maior que zero. A inequação é a seguinte:

³¹ O valor devolvido foi -0,2%. A simulação foi repetida com 0,0% colocado manualmente.

$$\frac{d(\text{Pacientes diferentes})}{d(\text{Tempo de permanência})} > 0 \quad (5.1)$$

Com:

$$\begin{aligned} \text{Admissões diferentes} &= \text{Admissões totais} - \text{Reinternamentos} = \\ &= \left[365 \times \left[\left(1 - \frac{a(t)}{100} \right) \times b + \left(1 - \frac{c(t)}{100} \right) \times d \right] \right] \times \left[1 - \left(1 - \frac{c(t)}{100} \right) \times \frac{e(t)}{100} \times \left(1 - \frac{f}{100} \right) \right] \end{aligned} \quad (5.2)$$

Onde:

$a(t)$ = Taxa de abandono da fila de espera;

b = Pedindo electivos;

$c(t)$ = Taxa de rejeição de pedidos urgentes;

d = Pedindo urgentes;

$e(t)$ = Taxa de pedidos de reinternamento;

f = Taxa de mortalidade UCI;

t = Tempo de permanência.

Então:

$$\begin{aligned} \frac{d(\text{Pacientes diferentes})}{d(\text{Tempo de permanência})} > 0 &\Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow \frac{de(t)}{dt} < (e(t)) \times \frac{\left(-b \times \frac{da(t)}{dt} - d \times \frac{dc(t)}{dt} \right) \times [1 - c(t)] - \frac{dc(t)}{dt} \times [b \times (1 - a(t)) + d \times (1 - c(t))]}{- (1 - c(t)) \times [b \times (1 - a(t)) + d \times (1 - c(t))]} \end{aligned} \quad (5.3)$$

A expressão de anterior é intratável analiticamente.

Por definição, $\frac{de(t)}{dt} < 0, t \in [8; 13,35]$. Se for possível provar que a fracção à direita da desigualdade é sempre positiva, então conclui-se que estamos sempre na situação do comportamento contra intuitivo – condição necessária e suficiente. Pela análise da expressão à direita de desigualdade, vemos que o denominador é sempre negativo, e o numerador assume sempre valores positivos. Veja-se o desenvolvimento do numerador:

Dados:

$$\left\{ \begin{array}{l} a(t) = -5,10 + 0,827 \times t; \\ c(t) = -11,5 + 5,49 \times t; \\ b = \frac{75,7}{365}; \\ d = \frac{126,5}{365}. \end{array} \right. \quad (5.4)$$

Então, simplificando o numerador:

$$-56,6 + 22,7 \times t > 0 \Leftrightarrow t > -2,49, \text{ o que se verifica para } t \in [8; 13,35].$$

Só utilizando o simulador se pode procurar o comportamento contra intuitivo. Para conseguir este objectivo, regista-se o número de pacientes diferentes admitidos quando o “Tempo de permanência” é 10 dias, e a “Taxa de pedidos de reinternamento” é 20%. Depois, à medida que se faz aumentar o “Tempo de permanência”, procura-se qual a “Taxa de pedidos de reinternamento” que permite atingir o número original de pacientes diferentes admitidos. Os resultados estão compilados no gráfico da Figura 5-1.

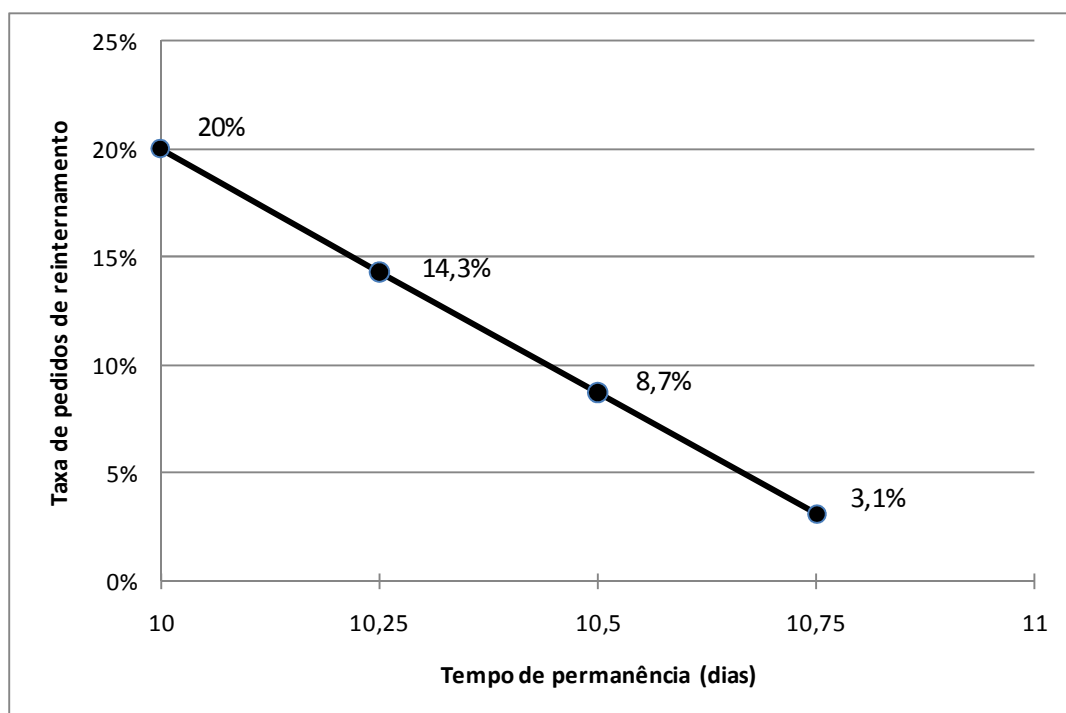


Figura 5- 1: Taxas de pedidos de reinternamento máximas para verificar comportamento contra intuitivo.

O gráfico da Figura 5-1 mostra as taxas máximas, a partir das quais se observa o comportamento contra intuitivo, ou seja, o número de admissões diferentes aumenta à medida que se aumenta o tempo médio de permanência. Só foi possível verificar este comportamento até 10,75 dias de “Tempo de permanência”. 11 dias já implicava uma “Taxa de pedidos de reinternamento” negativa.

Apenas curvas de calibração que passem abaixo da curva da Figura 5-1 permitem verificar o comportamento contra intuitivo. Este não é o caso da curva calibrada na Figura 4-18.

Elaboração de cenários

Dado que a UCI se encontra mal dimensionada, o único cenário interessante a explorar será como maximizar a motivação e minimizar os conflitos alterando o “Tempo de permanência”, o número de camas (“N camas”), ou a existência de Cuidados Intermédio (“Intermédios”).

Quando se diminui apenas o “Tempo de permanência”, os conflitos aumentam e a motivação diminui. Quando se aumenta apenas o número de camas de 5 para 6, os conflitos diminuem mas a motivação mantém-se constante. Quando se introduz apenas uma unidade de cuidados intermédios, e se considerar que permite a redução do tempo de permanência sem implicar uma maior “Taxa de pedidos de reinternamento”, então é possível simultaneamente diminuir os conflitos e aumentar a motivação.

5.2. Exploração do simulador

Parece haver evidência sobre o mau dimensionamento da UCI. Mas se diminuirmos o tempo de permanência, abrirmos a sexta cama e colocarmos Cuidados Intermédios qual é o impacto positivo no sistema?

Procura-se responder a esta pergunta simulando qual o impacto quando o tempo de permanência é colocado em 8 ou 10 dias, o número de camas em 5 ou 6, e com ou sem o esperado efeito de redução do número de pedidos electivos colocados. Claro, tudo isto na situação de Intermédios que parece conseguir diminuir os conflitos e aumentar a motivação.

As próximas tabelas mostram os resultados para as várias combinações dos inputs.

Tabela 5-3: Resultados simulação 1

Inputs		
Variável	Valor	Variação para situação actual
Tempo de permanência	10 dias	-25,9 %
Número de camas	5 camas	0 %
Pedidos electivos	75,7 pedidos/ano	0 %
Intermédios?	Sim	
Outputs		
Variável	Valor	Variação para situação actual
Taxa de rejeição de pedidos urgentes	43,7%	-22,3%
Taxa de ocupação média	80%	-9,4%
Taxa de abandono da fila de espera	3,2%	-37,3%
Tempo de espera	5,8 dias	-25,9%
Admissões electivas	73,3 pacientes/ano	+2,4%
Admissões urgentes	71,4 pacientes/ano	+59,6%
Admissões totais	144,7 pacientes/ano	+21,5%
Pacientes diferentes	144,0 pacientes/ano	+21,1%

Tabela 5-4: Resultados simulação 2

Inputs		
Variável	Valor	Variação para situação actual
Tempo de permanência	8 dias	-40,1%
Número de camas	5 camas	0 %
Pedidos electivos	75,7 pedidos/ano	0 %
Intermédios?	Sim	
Outputs		
Variável	Valor	Variação para situação actual
Taxa de rejeição de pedidos urgentes	32,7%	-39,0%
Taxa de ocupação média	73,2%	-16,5%
Taxa de abandono da fila de espera	1,5%	-64,4%
Tempo de espera	4,1 dias	-44,7%
Admissões electivas	74,5 pacientes/ano	+4,1%
Admissões urgentes	85,4 pacientes/ano	+95,0%
Admissões totais	159,9 pacientes/ano	+40,7%
Pacientes diferentes	159 pacientes/ano	+33,7%

Tabela 5-5: Resultados simulação 3

Inputs		
Variável	Valor	Variação para situação actual
Tempo de permanência	10 dias	-25,1%
Número de camas	6 camas	+20%
Pedidos electivos	75,7 pedidos/ano	0%
Intermédios?	Sim	
Outputs		
Variável	Valor	Variação para situação actual
Taxa de rejeição de pedidos urgentes	31,5%	-41,0%
Taxa de ocupação média	74,8%	-14,8%
Taxa de abandono da fila de espera	1,5%	-64,4%
Tempo de espera	4,0 dias	-45,9%
Admissões electivas	74,6 pacientes/ano	+4,1%
Admissões urgentes	87,0 pacientes/ano	+99,2%
Admissões totais	161,6 pacientes/ano	+42,4%
Pacientes diferentes	160,6 pacientes/ano	+35,1%

Tabela 5-6: Resultados simulação 4

Inputs		
Variável	Valor	Variação para situação actual
Tempo de permanência	8 dias	-40,1%
Número de camas	6 camas	0 %
Pedidos electivos	75,7 pedidos/ano	0 %
Intermédios?	Sim	
Outputs		
Variável	Valor	Variação para situação actual
Taxa de rejeição de pedidos urgentes	20,5%	-57,7%
Taxa de ocupação média	68%	-21,8%
Taxa de abandono da fila de espera	(0,0%) ³²	-91,5%
Tempo de espera	2,4 dias	-64,7%
Admissões electivas	75,7 pacientes/ano	+5,8%
Admissões urgentes	100,9 pacientes/ano	+136%
Admissões totais	176,6 pacientes/ano	+58,2%
Pacientes diferentes	175,6 pacientes/ano	+47,7%

³² O simulador devolve -0,1%. A simulação é repetida com 0,0% colocado manualmente.

Tabela 5-7: Resultados simulação 5

Inputs		
Variável	Valor	Variação para situação actual
Tempo de permanência	10 dias	-25,9 %
Número de camas	5 camas	0 %
Pedidos electivos	65 pedidos/ano	-14,1%
Intermédios?	Sim	
Outputs		
Variável	Valor	Variação para situação actual
Taxa de rejeição de pedidos urgentes	39,9%	-28,5%
Taxa de ocupação média	77,8%	-12,0%
Taxa de abandono da fila de espera	2,4%	-49,2%
Tempo de espera	5,0 dias	-34,1%
Admissões electivas	63,4 pacientes/ano	-11,5%
Admissões urgentes	76,1 pacientes/ano	+70,6%
Admissões totais	139,5 pacientes/ano	+21,6%
Pacientes diferentes	138,8 pacientes/ano	+16,7%

Tabela 5-8: Resultados simulação 6

Inputs		
Variável	Valor	Variação para situação actual
Tempo de permanência	8 dias	-40,1%
Número de camas	5 camas	0 %
Pedidos electivos	65 pedidos/ano	-14,1%
Intermédios?	Sim	
Outputs		
Variável	Valor	Variação para situação actual
Taxa de rejeição de pedidos urgentes	29,0%	-45,3%
Taxa de ocupação média	71,0%	-19,0%
Taxa de abandono da fila de espera	0,8%	-76,3%
Tempo de espera	3,4 dias	-52,9%
Admissões electivas	64,5 pacientes/ano	-10,0%
Admissões urgentes	90,0 pacientes/ano	+106%
Admissões totais	154,5 pacientes/ano	+36,7%
Pacientes diferentes	153,6 pacientes/ano	+29,2%

Tabela 5-9: Resultados simulação 7

Inputs		
Variável	Valor	Variação para situação actual
Tempo de permanência	10 dias	-25,1%
Número de camas	6 camas	+20%
Pedidos electivos	65 pedidos/ano	-14,1%
Intermédio?	Sim	
Outputs		
Variável	Valor	Variação para situação actual
Taxa de rejeição de pedidos urgentes	27,7%	-47,3%
Taxa de ocupação média	72,6%	-17,3%
Taxa de abandono da fila de espera	0,8%	-76,3%
Tempo de espera	3,3 dias	-54,1%
Admissões electivas	64,5 pacientes/ano	-10,0%
Admissões urgentes	91,6 pacientes/ano	+110%
Admissões totais	156,1 pacientes/ano	+38,5%
Pacientes diferentes	155,2 pacientes/ano	+30,5%

Tabela 5-10: Resultados simulação 8

Inputs		
Variável	Valor	Variação para situação actual
Tempo de permanência	8 dias	-40,1 %
Número de camas	6 camas	+20%
Pedidos electivos	65 pedidos/ano	-14,1 %
Intermédios?	Sim	
Outputs		
Variável	Valor	Variação para situação actual
Taxa de rejeição de pedidos urgentes	16,8%	-64,0%
Taxa de ocupação média	65,8%	-24,3%
Taxa de abandono da fila de espera	(0,0%) ³³	-100%
Tempo de espera	1,6 dias	-72,9%
Admissões electivas	65,0 pacientes/ano	-8,6%
Admissões urgentes	106,2 pacientes/ano	+147%
Admissões totais	171,2 pacientes/ano	+54,2%
Pacientes diferentes	170,0 pacientes/ano	+43,0%

Embora a UCI pareça estar mal dimensionada, é inegável que os cenários anteriores apresentam uma melhoria significativa face à situação actual. Mesmo no cenário mais conservador de todos – 10 dias de tempo de permanência, 5 camas, 75,7 pedidos electivos por ano, e com Intermédios – a performance do sistema foi melhorada em muito, como se pode consultar na Tabela 5-3. O efeito mais significativo é o aumento das admissões urgentes em 59,6% graças à redução da taxa de rejeição de pedidos urgentes para 43,7%.

Quanto ao cenário mais optimista – 8 dias de tempo de permanência, 6 camas, 65 pedidos electivos por ano, e com Intermédios – a melhoria da performance do sistema é ainda maior (Tabela 5-10). O número de admissões urgentes salta para 105,6 pacientes por ano, representado um aumento de 147% face ao valor actual. Isto é possível graças à diminuição da taxa de rejeição de pedidos urgentes de 62% para 16,8%. O tempo de espera reduz-se para apenas 1,6 dias, e o número de admissões totais aumenta em 54,2%.

O valor para a taxa de rejeição de pedidos urgentes obtido nesta simulação é inferior ao obtido quando se procurava mostra o mau dimensionamento da UCI (20,2% no cenário com 6 camas). Isto acontece porque o número de pedidos electivos foi encurtado de 75,7 para 65, significando uma menor competição entre pedidos urgentes e electivos, com impacto positivo na Taxa de rejeição de pedidos urgentes”. Note-se que se especula que possa haver redução no número de pedidos electivos apenas se for introduzida uma Unidade de Cuidados Intermédios. O juízo sobre o bom ou mau dimensionamento da UCI é feito com base nas condições actuais do sistema, por isso a procura à resposta sobre o bom ou mau dimensionamento da UCI é feita com base no número de pedidos electivos actual.

Os bons resultados obtidos nas tabelas 5-3 a 5-10 só são possíveis porque a introdução da Unidade de Cuidados Intermédios permite manter a taxa de pedidos de reinternamento num valor baixo, 1,1%, quando se diminui o tempo médio de permanência. No cenário mais optimista existe ainda um efeito positivo desencadeado pela presença da Unidade de Intermédios, que se materializa na diminuição do número de pedidos electivos colocados. É interessante verificar o impacto da

³³ O modelo devolve -0,9%. A simulação é repetida para 0,0% colocado manualmente.

implementação Unidade, repetindo as simulações correspondentes ao cenário mais optimista (Tabela 5-3) e ao cenário conservador (Tabela 5-10), mas desta vez sem uma Unidade de Cuidados Intermédios, e compara-se com os resultados anteriores. Em relação à simulação da Tabela 5-3 isso equivale simplesmente a colocar a “Taxa de pedidos de reinternamento” em 20%. Para a simulação da Tabela 5-10, isso equivale, pelas razões explicadas, a colocar a “Taxa de pedidos de reinternamento” em 20% e recolocar o número de pedidos electivos em 75,7 pacientes por ano.

Tabela 5-11: Resultados impacto dos intermédios do cenário conservador.

Inputs			
Variável	Valor		
Tempo de permanência	10 dias		
Número de camas	5 camas		
Pedidos electivos	75,7 pedidos/ano		
Taxa de pedidos de reinternamento	1,1% com Intermédios; 20% sem Intermédios		
Outputs			
Intermédios?	Sim	Não	Impacto dos Intermédios
Variável	Valor	Valor	
Taxa de rejeição de pedidos urgentes	43,7%	48,2%	-9,3%
Taxa de ocupação média	80%	82,8%	-3,4%
Taxa de abandono da fila de espera	3,2%	3,7%	-13,5%
Tempo de espera	5,8 dias	6,3 dias	-7,9%
Admissões electivas	73,3 pacientes/ano	72,9 pacientes/ano	+0,5%
Admissões urgentes	71,4 pacientes/ano	76,6 pacientes/ano	-6,8%
Admissões totais	144,7 pacientes/ano	149,5 pacientes/ano	-3,2%
Pacientes diferentes	144,0 pacientes/ano	137,9 pacientes/ano	+4,4%

Tabela 5-12: Resultados impacto dos intermédios do cenário optimista.

Inputs			
Variável	Valor		
Tempo de permanência	8 dias		
Número de camas	6 camas		
Pedidos electivos	65 com Intermédios; 75,7 sem Intermédios		
Taxa de pedidos de reinternamento	1,1% com Intermédios; 20% sem Intermédios		
Outputs			
Intermédios?	Sim	Não	Impacto dos Intermédios
Variável	Valor	Valor	
Taxa de rejeição de pedidos urgentes	16,8%	26,2%	-24,7%
Taxa de ocupação média	65,8%	71,5%	-4,9%
Taxa de abandono da fila de espera	(0,0%)	0,5%	0%
Tempo de espera	1,6 dias	3 dias	-30,4%
Admissões electivas	65 pacientes/ano	75,3 pacientes/ano	0%
Admissões urgentes	106,2 pacientes/ano	113,4 pacientes/ano	-11,0%
Admissões totais	171,2 pacientes/ano	188,6 pacientes/ano	-7,1%
Pacientes diferentes	170,0 pacientes/ano	167,9 pacientes/ano	+1,3%

Um resultado que salta à vista é o facto de introduzir uma Unidade de Cuidados Intermédios resultar em menos admissões urgentes por ano. Este resultado explica-se pelo maior fluxo de pedidos urgentes causado pela maior “Taxa de pedidos de reinternamento”, que se verifica caso não haja a Unidade. Mas se olharmos para os “Pacientes diferentes” admitidos por ano, então a introdução dos intermédios tem um pequeno impacto positivo.

A partir de todas as simulações apresentadas, parece que a introdução da Unidade de Intermédios é a política que menos impacto trará ao sistema. Mas é importante não esquecer, que colocar o “Tempo de permanência” em 8 ou 10 dias implicará uma “Taxa de pedidos de reinternamento” de cerca de 20% caso não exista já essa Unidade de Cuidados Intermédios.

É ainda pertinente ver qual o impacto no sistema quando se aumenta o número de camas de 5 para 6, mantendo tudo o resto constante. Os inputs e outputs são os da Tabela 5-13.

Tabela 5-13: Resultados impacto de abrir a sexta cama.

Inputs		
Variável	Valor	Variação para situação actual
Tempo de permanência	13,35 dias	0%
Número de camas	6 camas	20%
Pedidos electivos	75,7 pedidos/ano	0%
Intermédios?	Não	
Outputs		
Variável	Valor	Variação para situação actual
Taxa de rejeição de pedidos urgentes	49,8%	-19,7%
Taxa de ocupação média	86,2%	-5,7%
Taxa de abandono da fila de espera	4,3%	-27,1%
Tempo de espera	6,7 dias	-21,2%
Admissões electivas	72,5 pacientes/ano	+1,8%
Admissões urgentes	63,6 pacientes/ano	+32,5%
Admissões totais	136,1 pacientes/ano	+14,2%
Pacientes diferentes	135,5 pacientes/ano	+14,1%

O impacto é moderado, especialmente quando comparado com reduzir o tempo de permanência. No entanto, das Tabelas 5-3 a 5-10, parece que colocar mais uma cama na Unidade equivale a diminuir o tempo de permanência em 2 dias.

6. Teste

6.1. Qualidade da utilização dos resultados do submodelo discreto

Fizeram-se passar rectas de mínimos quadrados pela nuvem de pontos dos resultados do submodelo discreto. Mas quão bom é esse ajustamento?

As tabelas seguintes mostram as estatísticas sobre a qualidade do modelo de regressão linear multivariada para cada variável resposta.

Tabela 6-1: Taxa de abandono da fila de espera

R ² ajustado	46,1%	
Erro padrão da resposta	2,296 [%]	
Intervalo de confiança a 95% para a resposta	± 4,50 [%]	
p-value para o teste de hipótese de não adequabilidade do modelo linear segundo a estatística F	<0,05% ³⁴	
p-value para o teste de hipótese de nulidade dos coeficientes das variáveis explicativas	Constante	3,6%
	Tempo de permanência	<0,05% ³⁰
	N camas	<0,05% ³⁰
	Pedidos electivos	<0,05% ³⁰
	Pedidos urgentes	3,7%

O ajustamento do modelo é muito mau, apenas 46,1% da variabilidade dos dados é explicada pela modelo. Surpreendentemente, os resultados para os testes de hipótese sobre a nulidade dos coeficientes das variáveis explicativas são bons. Daqui se conclui que o modelo não é linear mas que as variáveis explicativa são provavelmente a apresentadas.

A partir do gráfico de frequência acumulada para a “Taxa de abandono da fila de espera” – Figura B – 1 do Anexo B – podemos ver que em quase 40% das observações se observou 0,0% para esta taxa, e 80% das observações são inferiores a 4%. Então, em 80% das observações, o efeito sobre o número de admissões electivas é no máximo de 3 pacientes. O efeito é então desprezável, mas recomenda-se que o input sobre a “Taxa de abandono da fila de espera” seja feito manualmente. Os resultados apresentados mantêm-se válidos.

Tabela 6-2: Taxa de rejeição de pedidos urgentes.

R ² ajustado	95,0%	
Erro padrão da resposta	3,246 [%]	
Intervalo de confiança a 95% para a resposta	± 6,46 [%]	
p-value para o teste de hipótese de não adequabilidade do modelo linear segundo a estatística F	<0,05% ³⁵	
p-value para o teste de hipótese de nulidade dos coeficientes das variáveis explicativas	Constante	32,5%
	Tempo de permanência	<0,05% ³¹
	N camas	<0,05% ³¹
	Pedidos electivos	<0,05% ³¹
	Pedidos urgentes	<0,05% ³¹

O ajustamento é excelente, 95% da variabilidade dos dados é explicada pelo modelo. Este resultado é particularmente importante, pois a conclusão sobre o bom ou mau dimensionamento da UCI é feita com base no valor da “Taxa de rejeição de pedidos urgentes”.

³⁴ A resolução máxima do software é 0,1%. “<0,05%” corresponde a um valor mostrado de 0,0%.

³⁵ A resolução máxima do software é 0,1%. “<0,05%” corresponde a um valor mostrado de 0,0%.

Tabela 6-3: Tempo de espera.

R ² ajustado		69,4,0%
Erro padrão da resposta		1,410 [dias]
Intervalo de confiança a 95% para a resposta		± 2,76 [dias]
p-value para o teste de hipótese de não adequabilidade do modelo linear segundo a estatística F		<0,05% ³⁶
p-value para o teste de hipótese de nulidade dos coeficientes das variáveis explicativas	Constante	22,6%
	Tempo de permanência	<0,05% ³²
	N camas	<0,05% ³²
	Pedidos electivos	<0,05% ³²
	Pedidos urgentes	0,1%

O ajustamento é de má qualidade, apenas 69,4% da variação dos dados é explicada pelo modelo. Felizmente, o “Tempo de espera” apenas entra na definição dos “Conflitos”, onde nem é um dos componentes menos importantes. Mesmo com um tempo de espera errado, mantém-se válido o modo como diminuir os “Conflitos”.

Tabela 6-4: Taxa de ocupação média.

R ² ajustado		92,9 %
Erro padrão da resposta		2,301 [%]
Intervalo de confiança a 95% para a resposta		4,51 [%]
p-value para o teste de hipótese de não adequabilidade do modelo linear segundo a estatística F		<0,05% ³⁷
p-value para o teste de hipótese de nulidade dos coeficientes das variáveis explicativas	Constante	<0,05% ³³
	Tempo de permanência	<0,05% ³³
	N camas	<0,05% ³³
	Pedidos electivos	<0,05% ³³
	Pedidos urgentes	<0,05% ³³

O ajustamento do modelo é muito bom, explicando 92,9% da variabilidade nos dados.

³⁶ A resolução máxima do software é 0,1%. “<0,05%” corresponde a um valor mostrado de 0,0%.

³⁷ A resolução máxima do software é 0,1%. “<0,05%” corresponde a um valor mostrado de 0,0%.

6.2. Sensibilidade na calibração do submodelo discreto

Testa-se a sensibilidade dos resultados do submodelo discreto a variações nos parâmetros “T” e “E” de $\pm 50\%$ e suas combinações, para as duas simulações correspondentes aos cenários mais extremos – códigos da simulação 1 e 16 da Tabela 4-8. O tempo de simulação é de 1000 anos, e os resultados apresentados correspondem à média para 1 ano.

Tabela 6-5: Resultados do teste de sensibilidade aos parâmetros “T” e “E”.

	Taxa de abandono da fila de espera		Taxa de rejeição de pedidos urgentes		Tempo de espera médio		Taxa de ocupação média	
Código da simulação 1	[%]		[%]		[dias]		[%]	
T, E	8,1		59,5		9,96		88,2	
T-50%,E-50%	6,6	-19%	60,7	+2,0%	5,61	-44%	88,1	-0,1%
T-50%, E	4,8	-41%	61,8	+3,9%	6,61	-34%	88,4	+0,2%
T-50%, E+50%	3,6	-56%	62,3	+4,7%	7,10	-29%	88,6	+0,5%
T, E-50%	11	+36%	58,9	-1,0%	8,45	-15%	88,0	-0,2%
T, E+50%	6,6	-19%	60,1	+1,0%	11,0	+10%	88,5	+0,3%
T+50%, E-50%	14	+73%	57,3	-3,7%	10,8	+8,4%	87,7	-0,6%
T+50%, E	11	+36%	58,0	-2,5%	13,1	+32%	88,0	-0,2%
T+50%, E+50%	9,8	+21%	58,6	-1,5%	14,6	+47%	88,2	0,0%
Código da simulação 16	[%]		[%]		[dias]		[%]	
T, E	0,18		15,6		2,27		62,7	
T-50%,E-50%	0,22	+22%	15,9	+1,9%	1,29	-43%	62,6	-0,2%
T-50%, E	0,12	-33%	15,9	+1,9%	1,30	-43%	62,5	-0,3%
T-50%, E+50%	0,08	-56%	15,7	+0,6%	1,30	-43%	62,4	-0,5%
T, E-50%	0,33	+83%	15,3	-1,9%	2,26	-0,4%	62,6	-0,2%
T, E+50%	0,12	-33%	15,8	+1,3%	2,32	+2,2%	62,7	0,0%
T+50%, E-50%	0,21	+17%	15,4	-1,3%	3,23	+42%	62,8	+0,2%
T+50%, E	0,18	0,0%	15,2	-2,6%	3,23	+42%	62,5	-0,3%
T+50%, E+50%	0,12	-33%	15,6	0,0%	3,22	+42%	62,8	+0,2%

Os resultados obtidos estão em linha com os obtidos para a qualidades dos ajustamentos da regressões lineares multivariadas. As variáveis “Taxa de abandono da fila de espera” e “Tempo de espera” são muito sensíveis a alterações nos parâmetros “T” e “E”. Este resultado não é surpreendente já que são estes dois parâmetros que permitem calibrar estas duas variáveis. Surpreendente é o facto de o impacto sobre a variável “Taxa de rejeição de pedidos urgentes” ser tão diminuto, já que “T” e “E” regulam de alguma forma a competição entre pedidos urgentes e pedidos electivos. Este é um feliz resultado para o modelo.

7. Conclusões

Escreveu-se um procedimento, o mais universal possível, para a elaboração de um simulador de “voo” de gestão para unidades de cuidados intensivos. O procedimento de calibração permite adaptar o simulador a diferentes UCIs. No que concerne o interface, ele foi elaborado de modo a servir os propósitos da simulação, que resultam do caso de estudo em mãos. Outras UCIs, com outros problemas, podem requerer um interface diferente, quer em termos de *outputs* quer de *inputs*.

O caso de estudo escolhido teve como aliciante o facto de o sistema estar evidentemente em crise, e os agentes no problema terem beneficiado do processo de modelação. Por outro lado, descobriu-se que a Administração não exerce as melhores praticas de gestão, não existindo sequer um esboço de um *score card* para a UCI. A parte do modelo que permite a procura das melhores soluções em função de objectivos estabelecidos não se pode usar convenientemente.

A literatura escusa-se frequentemente à elaboração de DCC para exploração do problema. Ao invés disso, a modelação é feita directamente na forma de um diagrama de níveis e fluxos, por vezes usando as convenções de representação dos DCC. Nesta tese, a representação do problema num DCC revelou-se um processo muito iterativo, mas que assegurou a correcta compreensão do problema, a partir da qual todo o processo de modelação se desenrolou. Mais ainda, permitiu a descoberta de um *feedback* potencialmente conducente a um comportamento contra intuitivo, em que diminuir o tempo de permanência pode ser contraproducente para se conseguir mais admissões de pacientes diferentes por ano. Com efeito mostrou-se a possibilidade da existência deste comportamento, de acordo com a calibração do modelo, entre os 10 e os 10,75 dias de tempo médio de permanência. Para o tempo de permanência actual, 13,35 dias, o efeito está completamente diluído e sem significado.

Reconhece-se que os dados disponíveis no caso de estudo são escassos e com grande variabilidade. Isto traz problemas apenas na qualidade dos resultados, mas não na qualidade do modelo matemático. Por outro lado, a qualidade de um ajuste linear para explicar o tempo de espera e a taxa de abandono da fila de espera é má. Felizmente, o tempo de espera não traz qualquer impacto para o modelo, já que serve apenas, de forma comparativa, para determinar se os conflitos aumentam ou diminuem. Quanto à taxa de abandono da fila de espera, 80% da nuvem de pontos dos resultados do submodelo discreto cai abaixo dos 4%, significando no máximo menos 3 pacientes admitidos por ano, o que é absolutamente desprezável tendo para mais em consideração a incerteza quanto aos dados. No entanto, o interface permite o input manual de estas e outras variáveis. Outros ajustamentos, que não lineares, ficam por tentar.

O resultado obtido, que mostra o mau dimensionamento da UCI, é robusto o suficiente para suportar a possível imprecisão dos dados e o mau ajuste do modelo linear para as duas variáveis do parágrafo anterior. São evidentes os grandes benefícios que diminuir o tempo de permanência traz ao sistema. Passar o tempo de permanência de 13,35 dias para 10 ou 8 dias significa, em média, aumentar o número de admissões em 31,1% e reduzir a taxa de rejeição de pedidos urgentes para 38,2% (Tabelas 5-3 e 5-4). Abrir a sexta cama tem um impacto menor no sistema, sendo aproximadamente equivalente a diminuir o tempo de permanência em 2 dias. Instalar a Unidade de

Cuidados Intermédios, parece ser a política com menos impacto no sistema, mas é importante relembrar que taxas de pedidos de reinternamento baixas, para tempos médios de permanência de 8 a 10 dias, só são possíveis com a presença desta Unidade. O modelo não serve para julgar o valor de um reinternamento, quer em termos económicos quer em termos de hipóteses de sobrevivência para o paciente.

A introdução de uma Unidade de Cuidados Intermédios é a única política que permite simultaneamente diminuir os conflitos e aumentar a motivação.

A política mais fácil de implementar talvez seja passar a sexta cama a cama normal. Isto implica, claro, que a UCI deixa de ter capacidade para servir pacientes que precisem de estar em isolamento. Não existem dados sobre quantos pacientes a precisar de condições de isolamento são admitidos por ano, mas sabe-se serem poucos. No entanto, sai do objectivo desta tese avaliar o “*trade off*” entre mais pacientes admitidos *versus* pacientes a precisar de isolamento rejeitados.

Parece ser evidente, que mesmo mal dimensionada, a performance da UCI pode ser consideravelmente melhorada com a diminuição do tempo médio de permanência. Este cenário só é viável com a Introdução da Unidade de Cuidados Intermédios.

Fica em aberto para futura investigação a criação de um modelo para avaliar quais as melhores políticas para resolver o problema bom base em variáveis que sabem fora do âmbito desta tese, como os custos, por exemplo. Também será interessante, avaliar qual melhor solução para servir os pacientes críticos deste hospital – só UCI ou UCI e Intermédios – e respectivo dimensionamento.

Referências bibliográficas

Adams, H. 1918. *The Education of Henry Adams*. Boston : Houghton-Mifflin, 1918.

Amin, Hisham e Wahba, Khaled. 2003. Healthcare performance management model: system dynamics approach. *Proceedings of the 21st International Conference in System Dynamics*. NY. 2003.

Audit Commission. 1999. *Critical to success - The place of efficient and effective critical care services within the acute hospital*. London. 1999.

Baugh, P. J. e Walters, D. M. 1994. The introduction of hospital information systems - the necessity for accommodation. *Proceedings of the 12th International Conference of the System Dynamics Society*. Scotland. 1994.

Conselho Nacional Executivo da Ordem dos Médicos. Março 2007. Documento Orientador da Formação em Medicina Intensiva. *Revista Ordem dos Médicos*. Março 2007.

Forrester, Jay W. 1968. *Principles of Systems*. Wright-Allen Press, inc., 1968.

Goldhill, D. 2002. *Levels of critical care for adult patients*. Intensive Care Society, 2002.

Hines, William, et al. 2003. *Probability and Statistics in Engineering*. John Wiley & Sons, Inc., 2003.

Holmstrom, Paul e Elf, Marie. 2004. Staff retention and job satisfaction at a hospital clinic - a case study. *Proceedings of the 22nd International Conference of the System Dynamics Society*. UK. 2004.

Koshio, Atsushi e Akiyama, Masanori. 2008. Physician's burning out and human resource crisis in Japanese hospital: Management for sustaining medical services in Japan. *Proceedings of the 2008 International Conference of the System Dynamics Society*. Greece. 2008.

Lane, D. C., Monefeldt, C. e Rosenhead, J. V. 2000. Looking in the wrong place for healthcare improvements: A system dynamics study of an accident and emergency department. *The Journal of the Operational Research Society*. 2000.

Lane, David C., Monefeldt, Camilla e Husemann, Elke. 2003. Client involvement in simulation model building: Hints and insights from a case study at a London hospital. *Health care management science*. The Netherlands : Kluwer Academic Publishers, 2003.

Martinez-Moyano, Ignacio J., Wadhwa, Gary e MacDonald, Roderick H. 2003. Evolution of a system dynamics intervention: How changing the rules in a small health care private practice can redefine the strategic position of the firm and increase overall performance. *Proceedings of the 21st International Conference of the System Dynamics Society*. New York. 2003.

Richardson, George. 1994. Systems thinkers, systems thinking. *System Dynamics Review*. John Wiley & Sons, Ltd, 1994.

Royal College of Surgeons of England. 1993. British Association for Accident and Emergency Medicine Directory 1993. London : Royal College of Surgeons of England, 1993.

Sedehi, Habib. 2002. HDS: Health Department Simulator. 2002.

Senge, Peter. 1990. *The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization*. Transworld, 1990.

Stave, Krystyna e Hopper, Megan. 2007. What constitutes systems thinking? A proposed taxonomy. *Proceedings of the 25th International Conference of the System Dynamics Society*. Boston, USA. 2007.

Sterman, John D. 2000. *Business Dynamics - Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. McGraw-Hill, 2000.

—. 2004. Supply chain dynamics, the "beer distribution game", misperceptions in dynamic decision making. *Encyclopedia of Life Support Systems*. s.l. : UNESO Publishing - EOLSS Publishers, 2004.

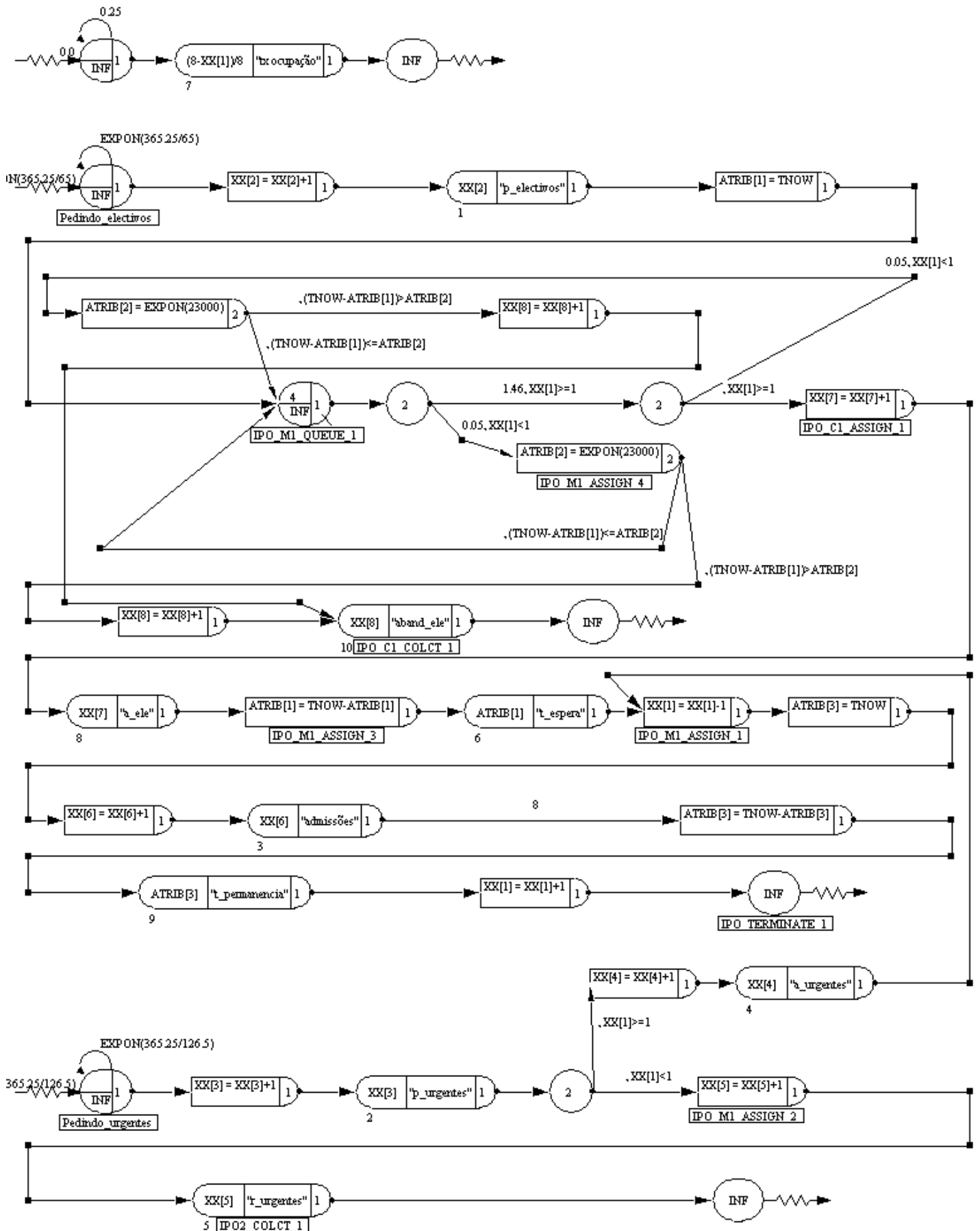
—. 1995. The beer distribution game. *Games and exercises for operations management*. Prentice Hall, 1995.

Wackers, G. L. 1994. Constructivist Medicine. Maastricht: Universitaire Pers Maastricht. 1994.

Walker, Beverly C. e Haslett, Tim. 2003. The dynamics of local rules in hospital admission processes. *Australian Health Review*. 2003.

Wolstenholme, Eric, Monk, David e McKelvey, Douglas. 2007. Relocating mental health resources in the borough of Lambeth, London, UK. *Proceedings of The 25th International Conference of the System Dynamics Society*. Boston. 2007.

ANEXO A



ANEXO B

Resultados dos 288 runs do submodelo discreto.

Tabela B – 1: Resultados

Run #	Código da simulação	Pedidos electivos	Pedidos urgentes	Tempo de espera médio	Taxa de ocupação	Tempo de permanência	Taxa de rejeição de pedidos urgentes	Taxa de abandono da lista de espera	Número de camas
1	1	62	117	5.48	83.5	12.58	53.0	3.2	5
2	1	60	135	9.31	89.4	14.28	60.0	6.7	5
3	1	65	126	12.87	89.1	14.02	61.1	7.7	5
4	1	69	145	8.737	89.1	13.2	63.4	5.8	5
5	1	78	123	5.91	88.5	11.58	58.5	1.3	5
6	1	63	120	10.31	87.9	14.7	59.2	9.5	5
7	1	83	129	11.75	89.8	13.342	62.8	18.1	5
8	1	76	121	9.26	89.2	13.495	66.1	3.9	5
9	1	65	120	4.604	84.8	12.97	59.2	3.1	5
10	1	81	137	6.616	87.1	12.145	64.2	3.7	5
11	1	77	139	9.606	89.7	12.332	62.6	1.3	5
12	1	81	124	13.459	89.6	13.364	62.1	9.9	5
13	1	83	129	13.568	90.3	13.488	58.1	19.3	5
14	1	84	125	7.784	86.7	11.201	56.8	1.2	5
15	1	67	139	9.436	91.1	14.208	67.6	1.5	5
16	1	67	134	12.969	89	13.119	56.7	10.4	5
17	1	88	121	10.486	92	13.282	68.6	4.5	5
18	1	71	128	5.33	83.4	10.871	49.2	0.0	5
19	2	84	127	10.066	89.8	13.549	65.4	11.9	5
20	2	80	127	9.915	87.5	11.76	54.3	11.3	5
21	2	73	125	8.538	87.6	12.403	58.4	4.1	5
22	2	71	128	5.917	88.9	11.973	53.9	2.8	5
23	2	80	117	10.913	86.3	12.186	58.1	7.5	5
24	2	76	122	3.983	84.2	9.98	42.6	1.3	5
25	2	68	125	6.183	85.7	12.213	53.6	1.5	5
26	2	79	123	7.793	87.7	13.163	62.6	7.6	5
27	2	78	136	6.605	87.1	11.506	53.7	10.3	5
28	2	82	130	9.122	89.4	14.18	66.2	11.0	5
29	2	83	129	5.918	84.6	10.272	50.4	3.6	5
30	2	86	121	6.226	86.3	10.528	52.1	1.2	5
31	2	68	116	5.059	83.4	10.94	45.7	0.0	5
32	2	81	133	6.9	85.1	10.206	47.4	3.7	5
33	2	89	118	10.67	88	11.56	51.7	7.9	5
34	2	98	112	6.129	88.2	10.914	54.5	7.1	5
35	2	75	135	7.209	86.1	10.509	46.7	4.0	5
36	2	66	135	5.9	90.8	14.024	61.5	3.0	5
37	3	68	133	4.417	77.8	8.86	34.6	2.9	5
38	3	62	126	4.152	77.9	10.215	42.9	1.6	5
39	3	76	136	4.056	76.4	8.316	36.0	3.9	5
40	3	77	122	3.981	77.1	9.406	38.5	0.0	5
41	3	77	132	5.902	82.7	10.391	48.5	5.2	5
42	3	79	129	7.645	80.9	10.015	48.8	1.3	5
43	3	87	146	6.563	86.4	10.427	52.7	10.3	5
44	3	80	106	4.446	75.9	9.015	36.8	1.3	5
45	3	69	136	4.317	81.2	9.82	42.6	1.4	5
46	3	69	131	4.099	76.2	8.769	33.6	1.4	5
47	3	68	135	3.88	78.9	9.94	45.2	1.5	5
48	3	75	123	4.26	81.3	10	40.7	5.3	5
49	3	77	140	4.4	83.4	9.479	45.0	1.3	5
50	3	81	124	6.44	84.6	9.457	39.5	1.2	5
51	3	85	130	5.641	77.6	9.185	49.2	1.2	5
52	3	76	128	4.92	79.1	9.164	39.8	1.3	5
53	3	65	118	6.401	80.4	11.64	50.8	3.1	5
54	3	94	109	6.927	84.8	9.944	43.1	4.3	5
55	4	77	140	4.459	72.9	7.306	27.1	2.6	5
56	4	84	152	3.928	74.6	7.429	36.8	2.4	5
57	4	79	133	3.2	67.8	7.558	40.6	0.0	5
58	4	57	114	1.92	68.8	7.713	13.2	1.8	5
59	4	79	113	6.764	69.1	7.626	26.5	2.5	5
60	4	76	134	3.579	68.9	7.188	29.9	0.0	5
61	4	88	124	3.719	76.9	7.736	30.6	0.0	5
62	4	70	130	2.603	66.9	6.896	21.5	0.0	5

Tabela B – 1: Resultados (continuação 1)

Run #	Código da simulação	Pedidos electivos	Pedidos urgentes	Tempo de espera médio	Taxa de ocupação	Tempo de permanência	Taxa de rejeição de pedidos urgentes	Taxa de abandono da lista de espera	Número de camas
63	4	77	116	2.753	72.6	7.66	20.7	0.0	5
64	4	70	143	3.56	74.8	7.564	28.0	2.9	5
65	4	75	118	4.068	75.3	8.68	33.9	1.3	5
66	4	74	125	2.702	68.3	7.419	30.4	0.0	5
67	4	64	141	2.472	68.6	7.442	30.5	0.0	5
68	4	72	131	3.033	76.4	8.441	33.6	0.0	5
69	4	67	123	2.454	66	7.2	24.4	0.0	5
70	4	61	153	3.915	76.6	8.614	37.9	0.0	5
71	4	69	114	2.638	66.2	7.76	28.9	0.0	5
72	4	75	127	3.55	71.1	7.769	32.3	0.0	5
73	5	60	134	6.518	86.6	12.129	47.8	5.0	5
74	5	75	119	6.125	89	11.998	56.3	5.3	5
75	5	49	122	5.495	82	12.186	47.5	6.1	5
76	5	72	121	8.887	87.8	13.009	57.9	6.9	5
77	5	59	143	7.643	87.7	12.245	57.3	0.0	5
78	5	60	106	4.124	77.4	10.859	35.8	5.0	5
79	5	65	116	12.12	92.6	15.116	62.1	9.2	5
80	5	68	121	12.139	88.1	13.243	58.7	2.9	5
81	5	55	127	4.351	75.3	10.752	44.1	3.6	5
82	5	71	127	8.036	88	13.2	57.5	7.0	5
83	5	59	132	6.24	83.9	12.26	50.8	5.1	5
84	5	63	138	12.8	91.5	15.279	68.1	6.3	5
85	5	60	137	10.107	84.1	11.89	48.9	10.0	5
86	5	53	131	3.861	86.8	13.406	55.0	1.9	5
87	5	60	126	9.687	86.9	12.595	50.8	1.7	5
88	5	57	126	5.35	85.6	13.758	57.1	5.3	5
89	5	74	130	9.07	88.4	12.46	57.7	8.1	5
90	5	76	121	8.8	86.7	12.28	57.9	6.6	5
91	6	55	145	4.407	86.3	11.57	48.3	3.6	5
92	6	59	130	5.134	80.7	10.581	46.2	1.7	5
93	6	62	142	5.538	84.9	11.145	48.6	0.0	5
94	6	57	115	4.7	84.9	13.103	51.3	3.5	5
95	6	65	117	4.724	80.3	10.269	37.6	0.0	5
96	6	57	107	4.03	83.1	11.965	39.3	3.5	5
97	6	73	96	8.412	86.6	12.678	49.0	5.5	5
98	6	55	152	6.361	82.3	11.302	49.3	5.5	5
99	6	71	129	7.881	82.6	10.659	48.1	1.4	5
100	6	54	148	4.52	86.9	11.867	48.6	5.6	5
101	6	62	112	5.561	81.4	10.99	39.3	3.2	5
102	6	64	130	6.734	82.9	11.36	50.8	1.6	5
103	6	61	98	3.278	74.8	10.657	39.8	1.6	5
104	6	73	135	8.564	83.1	10.9	50.4	11.0	5
105	6	52	123	4.389	74.7	10.15	40.7	0.0	5
106	6	62	105	5.305	84.2	13.63	55.2	3.2	5
107	6	72	132	7.756	90.1	12.7	59.8	1.4	5
108	6	68	113	5.057	84.1	12.165	51.3	2.9	5
109	7	74	121	4.074	75.8	8.926	36.4	1.4	5
110	7	56	145	4.399	80.7	10.292	42.8	1.8	5
111	7	66	140	6.117	81.7	10.66	45.7	3.0	5
112	7	63	119	3.381	73.2	9.439	38.7	0.0	5
113	7	61	126	3.838	76.9	9.392	33.3	0.0	5
114	7	76	136	4.691	84.6	10.14	45.6	2.6	5
115	7	60	110	3.266	69.8	8.965	31.8	1.7	5
116	7	58	119	3.075	77	10.161	35.3	1.7	5
117	7	55	112	7.272	80.6	10.911	34.8	0.0	5
118	7	74	121	4.074	75.8	8.926	36.4	1.4	5
119	7	56	121	5.38	86.9	11.79	39.7	3.6	5
120	7	75	131	6.672	84.7	10.922	51.9	2.7	5
121	7	73	130	5.078	82	10.14	46.9	1.4	5
122	7	60	139	3.482	79.7	9.63	37.4	0.0	5
123	7	48	126	3.342	72.5	8.749	22.2	2.1	5
124	7	69	122	8.215	83.7	11.19	47.5	1.4	5

Tabela B – 1: Resultados (continuação 2)

Run #	Código da simulação	Pedidos electivos	Pedidos urgentes	Tempo de espera médio	Taxa de ocupação	Tempo de permanência	Taxa de rejeição de pedidos urgentes	Taxa de abandono da lista de espera	Número de camas
125	7	65	129	3.789	76	8.72	33.3	1.5	5
126	7	71	120	4.937	79.2	9.427	35.8	1.4	5
127	8	62	126	2.062	62.4	6.739	19.8	0.0	5
128	8	65	141	2.665	68.5	6.845	22.7	1.5	5
129	8	52	131	2.372	69.9	8.217	25.2	0.0	5
130	8	55	121	2.827	67.8	7.7	18.2	1.8	5
131	8	62	105	1.642	56.5	6.304	13.3	0.0	5
132	8	51	123	2.148	65.1	7.582	22.0	0.0	5
133	8	70	121	2.184	73.2	8.078	28.9	1.4	5
134	8	81	134	2.916	74.9	7.498	29.1	0.0	5
135	8	50	124	2.525	67.4	7.9	21.0	0.0	5
136	8	62	126	2.062	62.4	6.739	19.8	0.0	5
137	8	62	137	2.2559	72.2	8.096	32.1	0.0	5
138	8	74	113	3.038	69.2	7.86	26.5	1.4	5
139	8	65	140	3.242	66.1	7.476	37.1	0.0	5
140	8	70	123	2.981	70.5	7.186	14.6	0.0	5
141	8	69	130	2.749	71.2	7.444	26.2	0.0	5
142	8	75	139	5.518	78.4	8.639	40.3	0.0	5
143	8	81	115	3.372	71	7.821	31.3	1.2	5
144	8	67	130	2.737	71.9	7.841	28.5	0.0	5
145	9	72	129	7.188	90.8	15.403	54.3	6.9	6
146	9	80	111	3.934	85.4	12.757	45.9	0.0	6
147	9	78	136	8.256	88.5	14.12	55.9	10.3	6
148	9	80	125	10.211	88.9	14.124	48.0	12.5	6
149	9	98	122	7.049	87.2	13.052	58.2	7.1	6
150	9	75	116	6.439	83.6	13.515	48.3	2.7	6
151	9	68	147	6.948	88.3	14.57	57.8	7.4	6
152	9	85	114	5.914	87.6	12.952	47.4	3.5	6
153	9	76	119	9.875	89.8	15.113	57.1	3.9	6
154	9	72	129	7.188	90.8	15.403	54.3	6.9	6
155	9	83	117	7.406	83.5	12.97	52.1	3.6	6
156	9	80	112	4.607	84.3	12.869	42.0	1.3	6
157	9	80	114	8.02	85.7	13.748	47.4	7.5	6
158	9	64	110	3.869	81.2	13.278	41.8	1.6	6
159	9	65	131	4.012	81.3	12.561	46.6	1.5	6
160	9	52	111	2.45	76.6	12.801	34.2	0.0	6
161	9	77	124	3.781	85.4	12.99	47.6	1.3	6
162	9	85	149	7.253	88.5	13.078	55.0	2.4	6
163	10	89	132	4.231	84	10.332	34.1	2.2	6
164	10	86	121	6.09	83.2	11.966	51.2	1.2	6
165	10	87	131	6.405	86.9	12.543	51.1	3.4	6
166	10	82	121	4.868	82.8	11.245	37.2	4.9	6
167	10	80	131	5.841	81.1	10.779	38.9	0.0	6
168	10	70	140	3.69	83.2	11.39	42.1	0.0	6
169	10	74	128	4.413	82.6	11.256	35.2	4.1	6
170	10	64	122	3.714	77.2	10.41	34.4	0.0	6
171	10	62	124	4.193	79	11.54	37.1	0.0	6
172	10	89	132	4.231	84	10.332	34.1	2.2	6
173	10	68	157	5.738	83.9	11.92	49.7	1.5	6
174	10	85	136	3.88	82.4	10.68	41.9	1.2	6
175	10	67	151	3.96	86.3	12.7	49.0	1.5	6
176	10	74	139	6.715	83	11.78	46.8	1.4	6
177	10	88	127	4.791	76.9	10.269	43.3	2.3	6
178	10	62	118	3.856	76.9	12.019	33.9	0.0	6
179	10	71	104	5.011	80.3	11.4	29.8	1.4	6
180	10	76	106	8.304	78.4	11.76	38.7	0.0	6
181	11	71	125	2.875	60.9	7.62	23.2	0.0	6
182	11	74	124	3.544	75.6	10.02	31.5	0.0	6
183	11	73	119	2.836	80.1	11.224	32.8	2.7	6
184	11	73	120	2.69	74.4	9.818	28.3	0.0	6
185	11	82	122	3.9	75.4	10.062	41.8	0.0	6
186	11	67	122	4.289	72.5	10.025	27.9	0.0	6

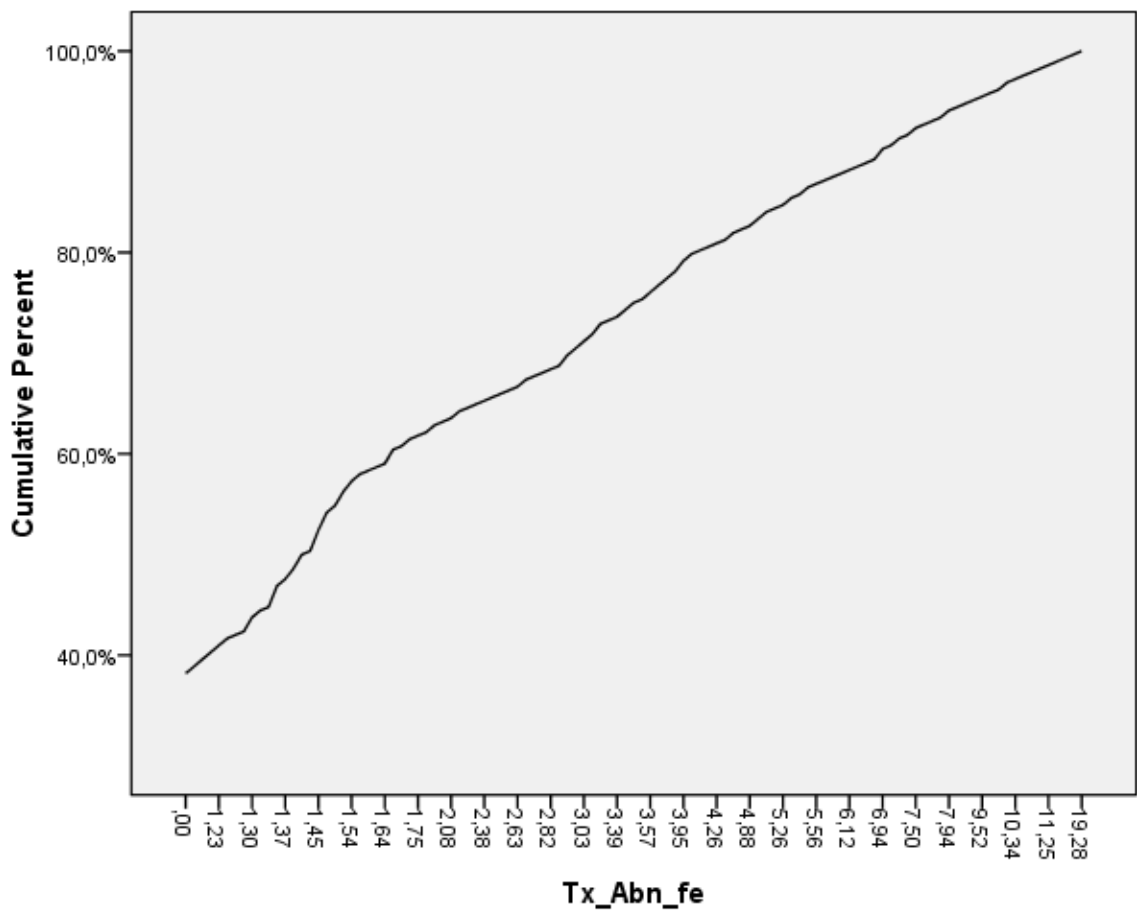
Tabela B – 1: Resultados (continuação 3)

Run #	Código da simulação	Pedidos electivos	Pedidos urgentes	Tempo de espera médio	Taxa de ocupação	Tempo de permanência	Taxa de rejeição de pedidos urgentes	Taxa de abandono da lista de espera	Número de camas
187	11	66	119	4.146	70.1	9.251	22.7	1.5	6
188	11	76	125	3.282	67.9	7.95	20.0	0.0	6
189	11	67	125	2.167	74.8	10.026	27.2	0.0	6
190	11	71	125	2.875	60.9	7.62	23.2	0.0	6
191	11	84	125	3.919	75	8.991	28.8	1.2	6
192	11	78	138	5.682	81.2	10.072	31.2	2.6	6
193	11	80	123	2.67	75.6	9.38	27.6	0.0	6
194	11	72	144	3.525	81.5	11.111	43.8	1.4	6
195	11	74	133	4.789	77	9.484	25.6	0.0	6
196	11	77	142	2.807	78.5	9.162	26.1	0.0	6
197	11	84	117	5.706	80.3	11.28	39.3	3.6	6
198	11	67	128	2.533	71.3	9.4	29.7	0.0	6
199	12	58	121	1.835	59.1	7.557	13.2	0.0	6
200	12	78	119	1.967	60.3	7.011	12.6	0.0	6
201	12	82	140	3.089	74.9	8.758	30.7	0.0	6
202	12	92	117	2.432	65.3	7.305	17.9	0.0	6
203	12	69	138	2.104	63.5	7.204	14.5	0.0	6
204	12	91	135	2.189	65.8	6.925	17.8	0.0	6
205	12	79	110	2.523	66.2	7.993	11.8	0.0	6
206	12	94	138	3.016	79.3	9.034	34.8	0.0	6
207	12	75	132	2.304	66.6	7.792	21.2	0.0	6
208	12	58	121	1.835	59.1	7.557	13.2	0.0	6
209	12	90	127	1.868	59.7	6.593	19.7	0.0	6
210	12	69	124	2.535	67	8.511	18.5	1.4	6
211	12	90	124	2.645	70.8	8.141	23.4	0.0	6
212	12	58	125	1.889	66.1	8.933	24.0	0.0	6
213	12	92	115	6.545	70.2	8.884	27.0	4.3	6
214	12	68	130	2.479	65.7	7.956	20.8	0.0	6
215	12	77	124	2.345	71	9.03	26.6	1.3	6
216	12	68	117	1.826	59.7	7.126	6.0	0.0	6
217	13	63	128	5.932	85.8	14.324	47.7	7.9	6
218	13	68	116	5.598	81.8	12.691	41.4	1.5	6
219	13	66	120	7.041	87.4	14.952	52.5	0.0	6
220	13	60	133	4.329	83.4	13.79	48.1	1.7	6
221	13	67	137	7.104	87.2	14.707	57.7	6.0	6
222	13	55	106	3.344	75.6	12.45	33.0	1.8	6
223	13	53	124	4.478	80.1	12.37	35.5	0.0	6
224	13	69	127	7.111	82.5	12.178	40.2	4.3	6
225	13	50	118	2.874	76.8	12.885	33.9	4.0	6
226	13	63	128	5.932	85.8	14.32	47.7	7.9	6
227	13	59	125	5.683	85.5	13.84	44.8	5.1	6
228	13	55	125	3.552	78.1	12.462	39.2	0.0	6
229	13	66	125	3.61	80.7	12.506	44.0	1.5	6
230	13	74	121	4.163	77.5	11.63	43.0	2.7	6
231	13	61	130	4.44	81	12.396	40.8	3.3	6
232	13	53	113	3.54	80.8	14.597	45.1	0.0	6
233	13	61	118	2.861	75.6	10.95	28.0	0.0	6
234	13	66	119	7.1	88.3	15.549	52.1	6.1	6
235	14	67	137	4.306	78.9	10.249	27.7	3.0	6
236	14	55	137	3.417	80.2	11.938	37.2	0.0	6
237	14	58	136	4.509	81.3	12.403	39.7	3.4	6
238	14	69	137	4.007	83	11.273	37.2	0.0	6
239	14	74	116	5.331	87.4	13.532	46.6	1.4	6
240	14	59	142	5.401	81	12.309	43.7	3.4	6
241	14	57	128	5.822	78.5	12.027	39.8	0.0	6
242	14	72	123	3.628	77.5	11.547	40.7	1.4	6
243	14	69	128	9.426	74	10.989	36.7	8.7	6
244	14	67	137	4.306	78.9	10.249	27.7	3.0	6
245	14	58	122	2.531	79.2	11.67	32.0	1.7	6
246	14	73	136	5.791	84.3	12.748	50.0	5.5	6
247	14	64	132	3.5	79.4	10.95	35.6	0.0	6
248	14	70	142	9.525	87.1	12.25	41.5	4.3	6

Tabela B – 1: Resultados (continuação 4)

Run #	Código da simulação	Pedidos electivos	Pedidos urgentes	Tempo de espera médio	Taxa de ocupação	Tempo de permanência	Taxa de rejeição de pedidos urgentes	Taxa de abandono da lista de espera	Número de camas
249	14	71	139	7.879	86.7	12.74	44.6	1.4	6
250	14	74	119	3.276	79.6	11.68	41.2	1.4	6
251	14	69	115	3.318	78.5	11.2	29.6	1.4	6
252	14	61	120	3.58	80.3	12.271	35.8	0.0	6
253	15	49	145	3.891	68.2	9.018	23.4	0.0	6
254	15	78	113	3.969	75.2	10.111	31.0	0.0	6
255	15	66	125	2.999	69.6	9.135	24.0	1.5	6
256	15	68	140	2.752	75.9	10.116	34.3	0.0	6
257	15	56	128	2.767	73.4	9.815	19.5	0.0	6
258	15	64	138	2.705	74.4	9.685	26.8	0.0	6
259	15	52	124	1.862	59.9	7.564	12.1	0.0	6
260	15	73	121	2.426	67.1	8.311	20.7	0.0	6
261	15	46	130	3.173	70.8	9.733	19.2	0.0	6
262	15	49	145	3.891	68.2	9.018	23.4	0.0	6
263	15	69	108	2.719	68.7	9.517	25.0	1.4	6
264	15	68	102	2.051	69.3	9.823	23.5	1.5	6
265	15	73	140	3.221	75.3	9.618	32.9	1.4	6
266	15	53	125	2.855	66.3	8.5	22.4	0.0	6
267	15	55	142	2.751	75.4	10.16	28.2	0.0	6
268	15	49	121	1.96	62	8.324	10.7	0.0	6
269	15	63	110	4.603	75.4	11.492	33.6	1.6	6
270	15	60	143	4.387	78	10.6	32.2	1.7	6
271	16	73	152	2.649	63.9	7.094	22.4	0.0	6
272	16	64	115	2.855	64.1	8.414	16.5	0.0	6
273	16	70	131	2.338	59	6.818	17.6	0.0	6
274	16	64	132	3.373	69.4	9.113	26.5	0.0	6
275	16	54	136	1.716	58.9	7.16	15.4	0.0	6
276	16	50	135	2.448	66.3	8.048	10.4	0.0	6
277	16	65	140	2.029	62.5	7.013	12.1	0.0	6
278	16	56	127	2.902	63.7	7.747	11.0	0.0	6
279	16	74	123	1.941	64.4	7.484	11.4	0.0	6
280	16	73	152	2.649	63.9	7.094	2.6	0.0	6
281	16	66	132	3.229	62.6	7.776	18.9	1.5	6
282	16	71	126	1.968	62.5	7.222	11.1	0.0	6
283	16	69	149	2.643	67.8	7.672	18.8	0.0	6
284	16	63	120	1.76	68.1	8.579	13.3	0.0	6
285	16	49	138	1.841	59	7.119	10.1	0.0	6
286	16	62	111	1.639	58	7.69	11.7	0.0	6
287	16	74	126	2.119	66.7	7.933	15.1	0.0	6
288	16	56	147	2.143	63.5	7.251	11.6	0.0	6

Variável	Máximo	Mínimo
Pedidos electivos	98	46
Pedidos urgentes	157	96
Tempo de espera	13,57	1,64
Taxa de ocupação	92,6	56,5
Tempo de permanência	15,55	6,30
Taxa de rejeição de pedidos urgentes	68,6	2,6
Taxa de abandono da fila de espera	19,3	0,0
Número de camas	6	5



de espera.

ANEXO C

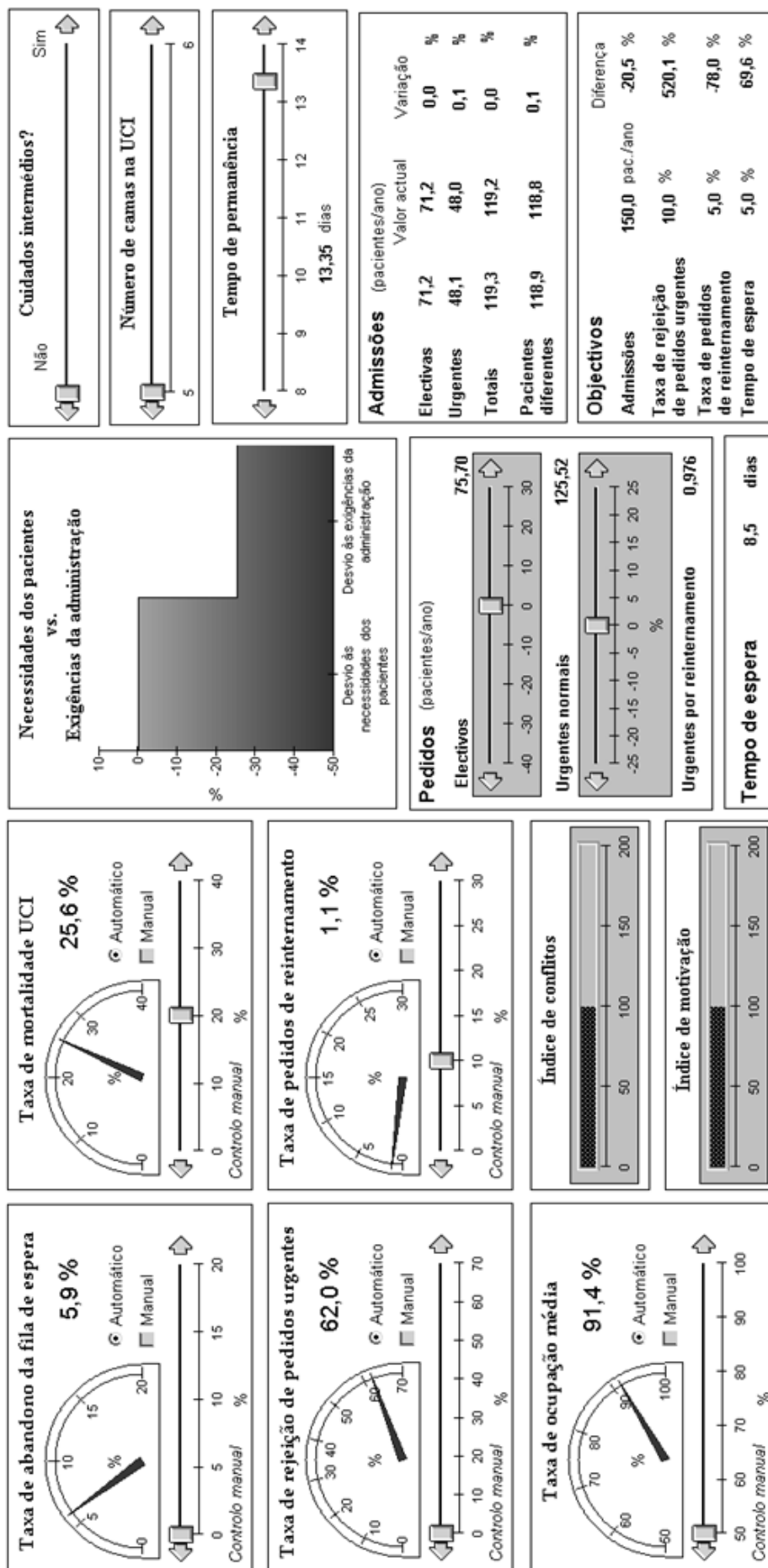


Figura C-1: Interface.