

## AGENDAMENTO EM CENTROS CIRÚRGICOS: UMA SOLUÇÃO BASEADA NA TEORIA DA CORRENTE CRÍTICA

## OPERATING ROOMS SCHEDULING: A SOLUTION BASED ON CRITICAL CHAIN THEORY

## HORARIO EN CENTROS QUIRÚRGICOS: UNA SOLUCIÓN BASADA EN LA TEORÍA DE LA CORRIENTE CRÍTICA

**Robson Flávio Castro**

Inspere - Instituto de Ensino e Pesquisa  
robsonfc@insper.edu.br

**Marcelo Liguori Zacchi**

marcelolz@al.insper.edu.br

**André Luís de Castro Moura Duarte**

Inspere - Instituto de Ensino e Pesquisa  
andre.duarte@insper.edu.br

**Lars Meyer Sanches**

Inspere - Instituto de Ensino e Pesquisa  
larsms@insper.edu.br



Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Creative Commons Attribution License  
This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License  
Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Creative Commons Attribution License

## RESUMO

**Objetivo:** A pesquisa tem dois objetivos, o primeiro é entender a dinâmica e as razões dos atrasos em um centro cirúrgico (CC) de um hospital de referência, localizado na cidade de São Paulo, e o segundo é propor novas políticas para o processo de agendamento de centros cirúrgicos, baseado na Teoria da Corrente Crítica (TCC). **Método:** Para alcançar tais objetivos, foram utilizados o método de Estudo de Caso (YIN, 2014) e a técnica de Simulação de Eventos Discretos. No estudo de caso, foram coletados indicadores de processos, além da realização de entrevistas com gestores de todas as áreas e serviços relacionados ao CC. **Fundamentação teórica:** A gestão de centros cirúrgicos é crítica em muitos hospitais, não somente pelos altos custos envolvidos, mas também pela sua complexidade. Os gestores dos CCs são desafiados a reduzir custos e buscarem melhorias na qualidade dos serviços prestados a pacientes e cirurgiões. A gestão de um CC envolve lidar com incertezas e variabilidades relacionadas com a quantidade e com a duração de cirurgias em um hospital. O processo de agendamento das cirurgias é crucial para o sucesso desta gestão. **Resultados:** Os resultados da simulação mostram que o uso da TCC melhorou significativamente os indicadores do centro cirúrgico estudado. Mesmo mantendo o volume de cirurgias por dia, observou-se uma queda no número de cirurgias iniciando com atrasos, de 94,5% para 58,3%. O atraso médio caiu de 54' para 35', uma redução de 35%. **Conclusões e contribuições:** Este trabalho procura propor soluções para gestores hospitalares com potencial efeito na redução de desperdícios nas operações dos CCs, na melhora dos indicadores de qualidade e na satisfação dos atores dos CCs e, por consequência, no aumento dos ganhos financeiros das instituições hospitalares.

**Palavras-chave:** gestão de centros cirúrgicos, dinâmica de sistemas, teoria da corrente crítica.

## ABSTRACT

**Objective:** The research has two goals, the first is to understand the dynamics and the reasons for the delays in a surgical center (SC) of a referral hospital located in the city of São Paulo, and the second is to propose new policies for the process of scheduling of surgical centers, based on Critical Current Theory (CCT).

**Method:** To achieve the objectives, we used the Case Study method (YIN, 2014) and the Discrete Event Simulation technique. During the case study, was collected process indicators and realized interviews with managers from all areas and services related to the SC.

**Theoretical basis:** Operating room management is critical in many hospitals, not only because of the high costs involved but also because of its complexity. The challenge of SC managers is to reduce costs and seek improvements in the quality of services provided to patients and surgeons. The management of an SC involves dealing with uncertainties and variability related to the number and duration of surgery in a hospital. The surgery scheduling process is crucial for the success of this management.

**Results:** The simulation results show that CCT significantly improved the indicators of the studied surgical center. Even maintaining the volume of surgeries per day, there was a drop in the number of surgeries starting with delays, from 94.5% to 58.3%. The average delay dropped from 54 'to 35', a reduction of 35%.

**Conclusions and contributions:** This work seeks to propose solutions for hospital managers with a potential effect in reducing waste in the operations of the SCs, in improving the quality indicators and in the satisfaction of the actors of the SCs, and, consequently, in increasing the financial gains of the hospital institutions.

**Keywords:** operating room management, system dynamics, critical chain theory.

## RESUMEN

**Objetivo:** La investigación tiene dos objetivos, el primero es comprender la dinámica y las razones de las demoras en un centro quirúrgico (CQ) de un hospital de referencia, ubicado en la ciudad de São Paulo, y el segundo es proponer nuevas políticas para el proceso de programación de centros quirúrgicos, basado en la Teoría de la Corriente Crítica (TCC). **Método:** Para lograr estos objetivos se utilizó el método Case Study (YIN, 2014) y la técnica Discrete Event Simulation. En el caso de estudio, se recolectaron indicadores de proceso, además de entrevistas con gerentes de todas las áreas y servicios relacionados con la CQ. **Base teórica:** La gestión de los centros quirúrgicos es fundamental en muchos hospitales, no solo por los elevados costes que implica, sino también por su

complejidad. Los gerentes de CQ tienen el desafío de reducir costos y buscar mejoras en la calidad de los servicios brindados a pacientes y cirujanos. El manejo de un CQ implica lidiar con las incertidumbres y la variabilidad relacionadas con el número y la duración de la cirugía en un hospital. El proceso de programación de la cirugía es crucial para el éxito de esta gestión. **Resultados:** Los resultados de la simulación muestran que el uso de TCC mejoró significativamente los indicadores del centro quirúrgico estudiado. Aún manteniendo el volumen de cirugías por día, hubo una caída en el número de cirugías comenzando con retrasos, del 94,5% al 58,3%. La demora promedio se redujo de 54 'a 35', una reducción del 35%. **Conclusiones y aportes:** Este trabajo busca proponer soluciones para los gestores hospitalarios con un potencial efecto en la reducción del desperdicio en las operaciones de los CQ, en la mejora de los indicadores de calidad y en la satisfacción de los actores de los CQ y, en consecuencia, en incrementar ganancias de las instituciones hospitalarias.

**Palabras clave:** gestión de centro quirúrgico, dinámica de sistemas, teoría de la corriente crítica.

## INTRODUÇÃO

O centro cirúrgico (CC) é uma área vital para qualquer instituição nosocomial, sendo a mais custosa para o hospital (AKBARZADEH et al., 2020; MACARIO et al., 1995; YOUNESPOUR et al., 2019). Estudos apontam que o CC consome mais de 33% do orçamento e atrai mais de 60% das receitas de um hospital (HANS; NIEBERG, 2007; MACARIO, 2006). Cada minuto de atraso no início das cirurgias gera, além de perdas financeiras, insatisfação por parte de todos os *stakeholders* associados à sua operação, seja à montante, no próprio CC ou à jusante deste. Uma série de atores são impactados pela gestão dos CC, tais como pacientes e acompanhantes, cirurgiões, anestesistas, enfermeiros e auxiliares de enfermagem, circulantes, instrumentadores, equipe de limpeza, entre outros (AKBARZADEH et al., 2020; WEISSMAN, 2005). É uma área intensiva de mão-de-obra qualificada, emprega recursos dedicados e por vezes escassos, insumos muitas vezes exclusivos e instalações eminentemente especializadas.

Melhorias na eficiência dos CC podem resultar não só no aumento da chance de sobrevivência dos pacientes, mas na redução de custos e aumento das receitas hospitalares, além de impactar na satisfação dos diversos atores envolvidos na sua operação. A boa gestão do CC é de fundamental importância para qualquer hospital, podendo ser gerenciado em três níveis: estratégico (longo prazo), administrativo (médio prazo) e operacional (curto prazo) (BLAKE; CARTER, 1997). Este artigo irá se concentrar no nível operacional e, mais especificamente, sobre o processo de agendamento. Cardoen *et al.* (2010) confirmam que os pesquisadores estão mais interessados neste último nível e que, a partir de 2000, o número de artigos publicados sobre o processo de agendamento em centros cirúrgicos aumentou consideravelmente. Pode-se dizer ainda que grande parte destas pesquisas usa modelos matemáticos e de pesquisa operacional para propor novas formas para otimização do processo, porém, deixam de lado aspectos qualitativos (comportamentais, políticos, etc.) importantes no processo de agendamento (CARDOEN; DEMEULEMEESTER; BELIËN, 2010).

Desta forma, apesar dos diversos estudos sobre o tema, observa-se que ainda há bastante espaço para o uso de novas abordagens emergentes. Assim, argumenta-se a necessidade de observar o agendamento por meio de outras lentes teóricas que possam tratar não somente as questões mais técnicas e de otimização de um agendamento, mas também as questões relacionadas ao comportamento de médicos, pacientes, funcionários e gestores. A atividade de agendamento visa maximizar a utilização do CC, bem como minimizar o tempo de hospitalização do paciente, oferecendo uma melhor experiência e aumentando a disponibilidade de leitos (JEBALI; HADJ ALOUANE; LADET, 2006). Incertezas e variações dos diferentes atores associados às cirurgias causam perturbações no sistema de agendamento do CC (CARDOEN; DEMEULEMEESTER; BELIËN, 2010). Falhas no sistema de agendamento de salas cirúrgicas reduzem a eficiência do CC, causam atrasos nos procedimentos e elevam os custos. Atrasos sucessivos comprometem o agendamento em um efeito cascata, gerando um ciclo vicioso.

Dada a importância dos Centros Cirúrgicos e de seu processo de agendamento, foi realizada a pesquisa relatada neste artigo, que teve dois grandes objetivos:

- (1) Entender a dinâmica dos atrasos em Centros Cirúrgicos;
- (2) Propor e simular uma nova política de agendamento do Centro Cirúrgico usando os princípios da teoria das restrições, mais especificamente da teoria da corrente crítica.

Para alcançar estes dois objetivos, foi utilizado o método de estudo de caso (YIN, 2014), realizado em um CC de um hospital da cidade de São Paulo, considerado modelo. A principal preocupação foi ter um olhar amplo para entender todos os processos de um hospital que afetam a eficiência e os resultados de um centro cirúrgico. A abordagem de Dinâmicas de Sistemas (STERMAN, 2000) foi adotada para compreender a dinâmica dos atrasos no hospital estudado. A política de agendamento proposta e simulada foi concebida a partir da Teoria da Corrente Crítica (TCC)(GOLDRATT, 2017), associada à Teoria das Restrições (TOC) (GOLDRATT; COX, 1984a). Ela foi testada com a aplicação da Simulação de Eventos Discretos (SED). A SED é um método de simulação que investiga, mediante a observação de eventos ao longo do tempo, o comportamento e o desempenho de situações do mundo real sob condições variáveis (CHWIF; MEDINA, 2014).

Este trabalho procura propor soluções para gestores hospitalares com potencial efeito na redução de desperdícios nas operações dos CCs, na melhora dos indicadores de qualidade e na satisfação dos atores dos CCs e, por consequência, no aumento dos ganhos financeiros das instituições hospitalares.

O artigo foi dividido nas seguintes seções: (1) Referencial teórico, que apresenta pontos pertinentes, identificados na literatura, sobre agendamentos em CC e TOC/TCC; (2) Aspectos metodológicos, que detalha as etapas da execução da pesquisa; (3) Resultados da pesquisa, descrevendo a dinâmica dos atrasos em hospitais e a aplicação TCC em CC; e (5) Conclusão, que destaca os pontos mais importantes da pesquisa, apresenta as suas limitações e propõe novas pesquisas.

## REFERENCIAL TEÓRICO

### **Agendamento em centros cirúrgicos**

Os CCs se caracterizam como um espaço de prioridades conflitantes devido aos diversos atores envolvidos (cirurgiões, gestores, anestesistas, pacientes...) e seus múltiplos interesses (WEISSMAN, 2005; YOUNESPOUR et al., 2019). Neste ambiente de conflitos, o agendamento constitui um importante papel no que se refere à utilização dos recursos hospitalares e simultaneamente à qualidade do tratamento conferido aos pacientes (WEINBROUM; EKSTEIN; EZRI, 2003). Um agendamento efetivo tem sido um dos principais objetivos das instituições de saúde (JEBALI; HADJ ALOUANE; LADET, 2006) e caracteriza-se pelo alinhamento entre a necessidade do paciente, a disponibilidade de sala e de pessoal (médicos e enfermeiros) e a utilização eficiente da unidade cirúrgica(WEINBROUM; EKSTEIN; EZRI, 2003).

A determinação do tempo de duração das fases pré-operatória, da cirurgia em si e pós-operatória é um dos pré-requisitos para o uso efetivo dos centros cirúrgicos (JEBALI; HADJ ALOUANE; LADET, 2006) e, conseqüentemente, para a melhoria da eficácia do agendamento. Porém, apesar das tarefas e métodos disponíveis, os autores fazem uma crítica ao relatar que essa tarefa muitas vezes é conduzida de maneira intuitiva por gestores de CCs.

Os estudos em agendamento são desenvolvidos a partir de diversos aspectos e enfoques – pessoas, processos, custos, tempos e prioridades. Uma grande parte utiliza simulações e modelagem matemática na definição dos sistemas. Pesquisas ressaltam a importância de se considerar os aspectos organizacionais e comportamentais e utilizam modelagem matemática contendo restrições probabilísticas (DE SNOO; VAN WEZEL; JORNA, 2011). Weinbroum et al.(2003) utilizam uma abordagem que considera as relações de dependência e independência entre atividades para desenvolver o agendamento. Nepote et al.(NEPOTE; MON, 2009) focam no estudo dos atrasos e trabalham a possibilidade de reagendamentos

frequentes. Dexter e Macario (DEXTER et al., 1999) demonstram que pequenas reduções de tempo, em procedimentos cirúrgicos ou anestésicos, impactam consideravelmente no aumento da capacidade de um CC. Jebali et al. (2006a) mostraram os ganhos da alocação das cirurgias considerando sequenciamentos mais eficientes de cirurgias em cada sala.

Redução da incerteza e da variabilidade dos processos também são tratados nos estudos de agendamento (MCMANUS et al., 2003; MIN; YIH, 2010). A incerteza é reflexo de diversos processos com alta variabilidade. A duração das cirurgias, o não comparecimento de pacientes, os atrasos de médicos, o número de atendimentos de emergência são exemplos de fatores que causam flutuações nas demandas do CC (BATUN et al., 2011; PROTIL; STROPARO; BICHINHO, 2008; YOUN et al., 2019). Van Oostrum et al. (2008) mostram os impactos da variabilidade na flutuação da demanda, não somente no CC, mas nas demais áreas de um hospital, tais como enfermarias e UTIs. Apesar de existirem diversos estudos que abordam a temática do agendamento dos CC, observa-se que não há um consenso sobre as causas dos atrasos e muito menos sobre como gerenciá-los (WONG et al., 2010).

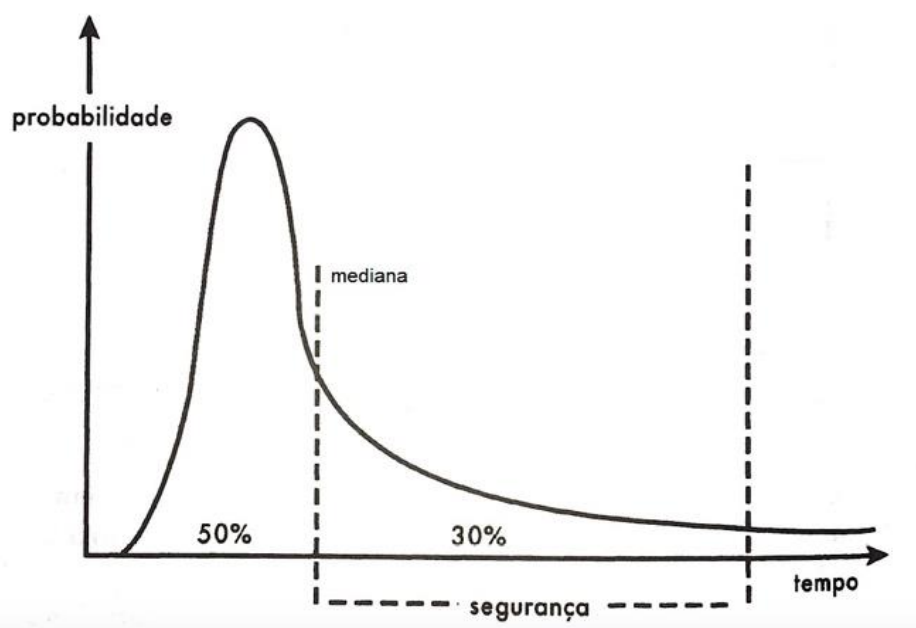
### **A teoria da Corrente Crítica (TCC)**

A TCC foi originalmente desenvolvida como filosofia de gerenciamento de projetos, advinda da Teoria das Restrições (GOLDRATT, 1997), com a finalidade de tornar os projetos mais baratos e concluídos dentro do prazo. A TCC tem um foco claro de gerenciamento de tempo, porém, não significa, que essa abordagem negligencie os aspectos de orçamento e escopo (LUIZ et al., 2019). As premissas básicas da TCC são: (1) as atividades em um processo são interdependentes, (2) os recursos disponíveis são escassos, (3) uma solução boa é melhor do que uma solução ótima (o “ótimo é inimigo do bom”) e (4) gerenciamento de buffers (folgas), ou contingenciamento de atrasos.

É normal que gestores de projetos busquem proteger a duração de cada atividade de um projeto com folgas generosas (devido a expectativas de durações pessimistas), ou seja, em cada etapa coloca-se um excesso de tempo (segurança) para proteger cada atividade contra eventuais atrasos (RAZ; BARNES; DVIR, 2003). Apesar da segurança inserida em cada atividade, os projetos falham devido a comportamentos específicos: a Síndrome do Estudante, a Lei de Parkinson e a execução de Multitarefas (ROBINSON; RICHARDS, 2010). A Síndrome do Estudante se refere ao comportamento que as pessoas têm de postergar o início da atividade pois sabem que existe uma grande segurança de tempo (folga) para término da atividade. A Lei de Parkinson diz que as tarefas tendem a ocupar todo o tempo e orçamento destinados para eles nos projetos. Por fim, a multitarefa, onde os recursos (na maioria das vezes pessoas) são pressionados para mostrar o progresso em várias frentes simultaneamente, prolongando a duração do projeto. O resultado deste conjunto de comportamentos é a propagação de atrasos, ou seja, os atrasos em uma etapa do projeto se propagam para as outras atividades sequenciais dos projetos.

Ainda segundo a TCC, a curva que representa a probabilidade de execução de uma tarefa em função do tempo segue uma Distribuição Log-Normal, onde quanto maior a incerteza associada ao tempo de execução da tarefa, maior é a cauda da curva. Isso explica a tendência de se acrescentar folgas aos tempos de execução, uma vez que a probabilidade de estar no prazo aumenta. A Figura I ilustra este conceito. A mediana estabelece uma probabilidade de 50% para que a tarefa seja executada em tempo. Agregando-se mais tempo, essa probabilidade pode passar de 80%. Esse tempo é a folga (buffer), ou segurança da tarefa (GOLDRATT, 1997). A atribuição de folga faz sentido até um certo limite. Acima disso, o tempo excedente custa caro e não agrega valor ao projeto.

**Figura I** - Representação da curva de Distribuição Log-Normal que relaciona a probabilidade de término de uma atividade no prazo em função do tempo estimado.



Fonte: Autores

A TCC busca gerenciar a incerteza colocando uma margem de segurança de tempo (buffer) no final do projeto, reduzindo o excesso de segurança total, se comparado com a segurança tradicionalmente colocada no final de cada tarefa de um projeto. Os buffers exploram a lei estatística de agregação, protegendo as incertezas das tarefas individuais usando proteção compartilhada (LUIZ et al., 2019).

As premissas da TCC relacionadas à interdependência dos processos, escassez de recursos e gerenciamento de pulmões estão presentes no cotidiano dos CCs. Agrega-se a isso o fato de o CC, bem como um projeto, estar inserido em um contexto de incertezas, pois eventos inesperados podem acontecer a qualquer momento, desde a chegada (ou não) do paciente ao hospital, até a recuperação pós-anestésica (WONG et al., 2010). Da mesma forma que os gestores e executores majoram os tempos de execução das tarefas de um projeto, assim procede o setor de Agendamento de cirurgias no hospital. São inúmeras as causas que levam a esse fenômeno, todas tendo como justificativa a redução do atraso para início dos procedimentos cirúrgicos.

Poucos são os estudos que apontam para o uso da TCC na área de saúde. Umble, Umble e Murakami (2006) descrevem como a TCC pode ser aplicada de forma proveitosa em Pronto Atendimento de três hospitais do National Health Service (NHS) na Inglaterra. Uma outra pesquisa, de Stratton and Knight (STRATTON; KNIGHT, 2010), trata da aplicação da TCC na melhoria do fluxo de pacientes em hospitais.

## ASPECTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa foi realizada em 2 etapas, sendo que a Etapa 1 é atribuída ao Estudo de Caso, é relacionada ao objetivo de entender a dinâmica e as razões dos atrasos no CC. A etapa 2 está ligada ao objetivo de propor novas políticas de agendamento de um CC baseada na teoria da corrente crítica.

### Etapa I – Estudo de caso do centro cirúrgico

O Estudo de Caso foi realizado em um importante hospital da cidade de São Paulo, com o intuito de entender o funcionamento de um CC. Segundo Yin (2014), o método de Estudo de Caso é

usado para entender um fenômeno contemporâneo dentro de um contexto de vida real, em situações em que as fronteiras entre o fenômeno e o contexto na qual ele está inserido não estão claramente estabelecidas, e na qual múltiplas fontes de evidências são utilizadas.

Durante o estudo, foram observados o processo de agendamento e de funcionamento do CC, e realizadas entrevistas com os gestores, médicos, coordenadores e funcionários do CC, além da análise de relatórios. O principal interesse do estudo é sobre atrasos ocorridos nas cirurgias, por isso, foram coletados dados referentes ao ano de 2018 referentes a duração dos procedimentos, período de agendamento, atrasos nas cirurgias, motivos dos atrasos e número de cirurgias realizadas.

Conversas informais também foram valiosas como fonte de dados textuais. Assim, foram extraídas informações ocultas e dados adicionais importantes para o entendimento do processo de agendamento e procedimentos cirúrgicos. As conversas foram realizadas em distintos momentos, ao longo do desenvolvimento do estudo, junto a cirurgiões, anestesistas, enfermeiros e pacientes, associados ou não ao hospital.

Para entender a dinâmica e as razões dos atrasos no CC foi realizada uma análise estatística exploratória com os dados coletados no Estudo de Caso, a fim de observar tendências, discrepâncias, interdependências e correlações entre eles. Os dados foram processados no software MS Excel for Mac®, versão 15, no pacote estatístico Stata® I2 e no pacote Input Analyzer do software de simulação Arena® 15. Com isso, foi possível entender como os horários das cirurgias se distribuem ao longo do tempo.

Para entender o comportamento do processo de agendamento do CC foi desenvolvido um modelo teórico, de acordo com a abordagem de Dinâmicas de Sistema (DS), no software Vensim® PLE, versão 6.4E. Esquadrinha-se o processo a fim de lançar luz nas relações de causa e efeito do atraso. Os resultados desta etapa formam um modelo que evidencia as causas dos atrasos e os fatores que reforçam comportamentos que geram ainda mais atrasos.

## **Etapas 2 – Avaliação das propostas de políticas de agendamento do CC**

Para propor políticas de agendamento do CC que reduzissem os atrasos no agendamento foi adotada a Teoria da Corrente Crítica (GOLDRATT, 1997), ligada à Teoria das Restrições (GOLDRATT; COX, 1984b). A aplicação desta teoria na análise operacional de CC torna-se pertinente na medida em que aborda elementos como prazos, recursos, atrasos, pulmões, interdependência de atividades (precedentes e dependentes), variabilidade do processo e incertezas.

As políticas foram desenvolvidas para alcançar dois objetivos: minimizar o efeito dos atrasos e maximizar o número de procedimentos realizados no Centro Cirúrgico, gerando conseqüente aumento de produtividade e receita.

Com o objetivo de avaliar o impacto das políticas de agendamento foram implementados quatro cenários distintos de simulação no do software Arena® 15, aplicando a técnica de Simulação de Eventos Discretos. No cenário 1 foi simulada a situação atual com os dados reais, no cenário 2 foi simulada a aplicação plena da TCC para a demanda atual de cirurgias, ou seja, destacamento de salas de reserva e diminuição do tempo de folga média em 50%.

## **ANÁLISES E RESULTADOS**

### **A dinâmica dos atrasos em um centro cirúrgico**

O setor de Agendamento opera o Mapa Cirúrgico, onde são lançadas as demandas por cirurgias, o controle de senhas junto aos convênios e os dados dos pacientes, efetivando a reserva de sala cirúrgica e disparando ordens de serviço aos diversos departamentos de apoio, tais como Farmácia, Centro de Material Esterilizado, Laboratório, entre outros. Na data e horário agendados, espera-se que o paciente se apresente para a internação. Este então é preparado para a cirurgia, recebe a visita pré-anestésica e é

encaminhado para o procedimento. Finalizado o expediente, o paciente então é encaminhado para a recuperação pós-anestésica (RPA) ou outro destino protocolar. A área de Agendamento é responsável por manter o Mapa Cirúrgico atualizado, gerindo o fluxo de informações e a disponibilidade de instalações.

Os dados desta pesquisa foram coletados diretamente da base de dados do hospital onde a mesma ocorreu. Foram 13641 registros, cada um correspondendo a um agendamento cirúrgico. Uma análise dos dados evidencia a dimensão do problema de atrasos nas cirurgias, com cerca de 89% dos procedimentos iniciando depois do horário agendado, 6% iniciam antecipadamente, e apenas 5% das cirurgias ocorrem no horário. Após a retirada das cirurgias antecipadas e dos outliers, a base de dados passou a contar com 12378 registros. O CC do hospital conta com 14 salas cirúrgicas e trabalha ininterruptamente, 24 horas por dia, 7 dias por semana.

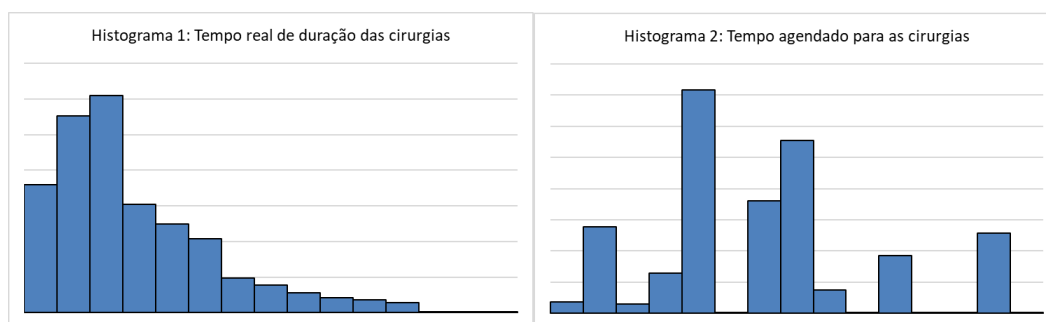
Análises descritivas evidenciaram que as quintas-feiras e sextas-feiras são os dias que se acumulam os maiores números de cirurgias e, conseqüentemente, de atrasos. Pôde-se observar também uma maior concentração de cirurgias nos primeiros horários do dia, em especial no primeiro horário. Os maiores atrasos ocorrem nos finais dos períodos, indicando uma propagação de atrasos ao longo dos períodos.

As folgas são dimensionadas, pela equipe de agendamento, empiricamente, mediante critérios abstratos e não uniformes. A "experiência" pessoal é subjetivamente importante nessa estimativa. Muitos agendamentos referenciam mais de um procedimento, podendo levar a subestimação ou superestimação da folga. De fato, a análise dos dados mostra um fenômeno que evidencia a ineficiência da atribuição de folgas aos tempos de agendamentos de cada cirurgia. Teoricamente a folga, colocada em cada cirurgia, deveria compensar o atraso, assegurando ao tempo de agendamento um buffer que o protegeria contra as incertezas.

Porém, pode-se observar uma acentuada diferença entre as curvas de distribuição dos valores referentes à duração real do procedimento e a duração prevista no agendamento (Figura II). Fica evidente nos histogramas que as concentrações dos dados estão totalmente discrepantes uma em relação à outra, demonstrando a ineficácia do processo de agendamento baseado na experiência dos responsáveis pelo agendamento.

Na busca por se compreender os atrasos no centro cirúrgico as várias entrevistas e análises do processo indicaram possibilidades de atrasos em diversos pontos do processo cirúrgico. Com base na classificação de Wolf et al. (2010), categorizou-se os atrasos conforme Quadro I abaixo. Importante destacar que as fontes de atrasos em um procedimento cirúrgico são muitas e, além disto, impactam umas às outras. Estes atrasos geram insatisfação nos clientes do CC (médicos e pacientes), além de impactarem diretamente na utilização das salas cirúrgicas. Após análises, pode se perceber também que os atrasos são reforçados por vários comportamentos de funcionários, médicos e pacientes.

**Figura II** - Comparação entre os histogramas de tempo real e de agendamento das cirurgias



Fonte: Autores



**Quadro I** - Classificação e descrição dos principais motivos de atraso

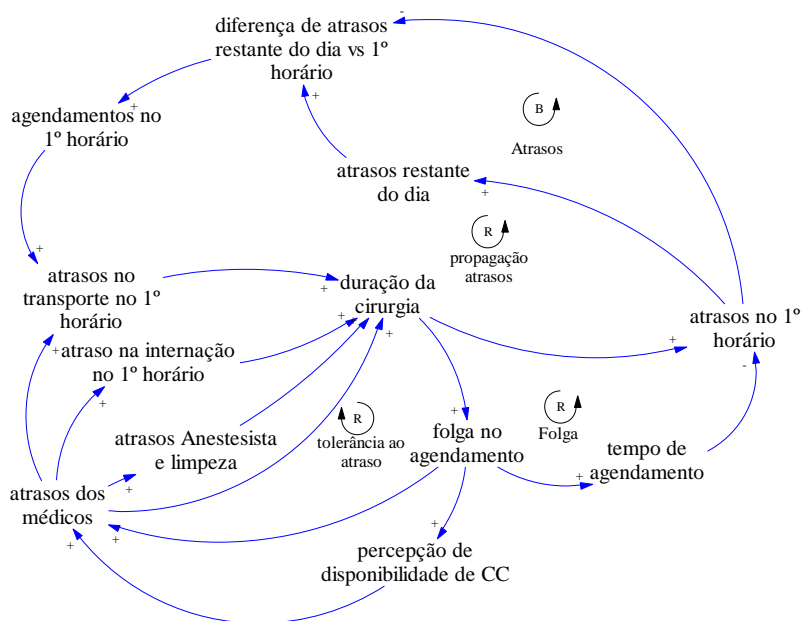
Classificação dos fatores de atrasos	Categoria	Descrições
Diversos	Administrativos	Atraso na Recepção
		Burocracia na internação
	Operacionais	Atraso na liberação do leito
		Atraso na preparação do leito
		Atraso na preparação do paciente
		Atraso na preparação da sala cirúrgica
	Médicos	Atraso na chegada ao hospital
		Atraso na chegada do anestesista
		Atraso no procedimento de anestesia
		Complicações na cirurgia
Paciente	Atraso na chegada ao hospital	
Equipamentos	Dispositivos e instrumental	Atraso na preparação de instrumental e equipamentos para a cirurgia
Transferências	Transportes	Atraso na chamada do setor de transporte
		Atraso no transporte do paciente para o CC

Fonte: Autores

Por meio da utilização da metodologia de simulação Dinâmica de Sistemas foi concebido um modelo teórico de relação causal do fenômeno estudado (Figura III). Foi utilizado o software Vensim® PLE, versão 6.4E para desenvolvimento do modelo.

Foi identificada, através da análise sistêmica dos processos, uma lógica que acaba aumentando os atrasos do CC, gerando um círculo vicioso no processo: a maioria dos médicos opta por cirurgias no primeiro horário do dia, uma vez que é o horário de menor probabilidade de atraso e além disto aproveita-se o fato do paciente estar em jejum e do médico poder ir para o consultório após a cirurgia. Isto gera um pico de trabalho nos primeiros horários para os demais setores do hospital, como internação e transporte. Estes setores acabam não conseguindo atender a toda a demanda de trabalho e atrasam como fornecedores do CC. Os atrasos nas primeiras cirurgias acabam se propagando, o que torna incerto o horário de início das cirurgias nos demais horários. Na tentativa de resolver os problemas dos atrasos, a equipe do agendamento normalmente superestima os horários de reservas de sala e, desta forma, com base na experiência, reservam um tempo maior do que o necessário para cada cirurgia, ou seja, realizam o agendamento com excessiva segurança (folga ou buffer). Os médicos sabendo que têm mais tempo do que realmente precisam chegam à cirurgia com atraso em relação ao horário agendado e acabam desperdiçando toda a segurança do agendamento (efeito da síndrome do estudante e da lei de Parkinson). Os demais setores e atores como anestesistas, transporte, limpeza e internação, sabendo que o médico vai se atrasar também acabam tolerando mais atrasos. Os demais médicos, responsáveis pelas demais cirurgias ao longo do dia, também contam com um atraso no início da cirurgia e acabam chegando ao hospital com atraso. Algumas vezes, até informam isto ao paciente, que também acaba chegando com atraso. Os atrasos acabam ocorrendo em cascata ao longo do dia e reforçam a preferência dos médicos pelo primeiro horário do dia, onde ocorre o menor atraso médio. O ciclo recomeça reforçando os atrasos sistêmicos.

**Figura III** - Ciclo dinâmico dos atrasos em Centros Cirúrgicos.



Fonte: Autores

Este ciclo comportamental, retratado na figura 3 de forma sistêmica, acaba por gerar a percepção de que a capacidade do CC é pequena em relação à sua demanda, apesar do grau de utilização apontar para valores cada vez menores no longo prazo. Isto ocorre, pois, o setor de agendamento tende a colocar cada vez mais folgas em cada cirurgia e em cada atividade para reduzir os atrasos. O grande desafio é brechar o ciclo que reforça a tolerância aos atrasos e que acaba por alavancá-los.

Na tentativa de brechar a cultura dos atrasos é necessário inverter os incentivos comportamentais. Como? É o que este trabalho explica a seguir usando os princípios da Teoria da Corrente Crítica.

Toda cirurgia, assim como as atividades de um projeto (verificado na Figura I), pode ter uma duração otimista (durar menos do que o esperado) uma realista (dentro do esperado) e uma pessimista (durar mais do que o esperado). Normalmente, como no caso estudado, o setor de agendamento adiciona uma margem de segurança no tempo da cirurgia para evitar atrasos. Com isto, o agendamento é feito usando o tempo da duração pessimista que possui uma grande margem de segurança (ou folga).

Com um tempo maior, o setor imagina estar aumentando a probabilidade de término da cirurgia no prazo. Isto faz com que os horários disponíveis para agendamento de novas cirurgias diminuam, ou seja, a capacidade de realização de cirurgias em um CC acaba sendo menor do que o esperado. Nos processos descritos anteriormente pôde-se observar que quando médicos, pacientes e funcionários sabem que possuem mais tempo do que o necessário para a cirurgia, eles tendem a desperdiçá-lo com atrasos propositais, afinal, segundo eles não será necessário todo o tempo requerido para tal cirurgia. No entanto, quando algum problema ocorre no processo cirúrgico, fica difícil recuperar o tempo perdido, resultando no atraso da cirurgia e consequente atraso em cascata das demais cirurgias. Os adiantamentos, por sua vez, não trazem ganhos significativos, pois se um cirurgião terminar sua cirurgia antes do previsto, o próximo cirurgião e sua equipe não estarão prontos para iniciar a próxima cirurgia.

Este trabalho propõe que o agendamento seja feito usando não mais o tempo da duração pessimista, mas um tempo próximo ao tempo de duração realista (duração mais provável). Com isto, médicos, pacientes e funcionários perderiam o incentivo do excesso de tempo para cada cirurgia e consequente atraso.

Resta saber como gerenciar a incerteza na duração das cirurgias. Para a solução deste dilema, este trabalho propõe ao setor de agendamento separar pulmões de capacidade para certos imprevistos. Estes pulmões não mais deveriam estar em cada cirurgia (em forma de folga), mas nas salas. Isto significa que o agendamento deveria deixar algumas salas livres (a quantidade depende do número de salas do CC) para

servir como pulmão de capacidade. Desta maneira, caso uma cirurgia atrase, a cirurgia seguinte seria alocada em uma das salas livres, evitando assim os atrasos em cascata. Neste caso há o pressuposto de que todas as salas de um CC podem receber qualquer tipo de cirurgia, o que nem sempre é verdade.

Toda esta solução deve estar amarrada por indicadores de pontualidade tanto para médicos como para a equipe médica envolvida em uma cirurgia. Estes indicadores poderiam ainda estar alinhados com mecanismos de incentivo e reconhecimento. Por exemplo, médicos pontuais deveriam ter preferência por horários nobres.

Além disto, é importante salientar que a gestão do CC deve ter entendimento e visão da operação das demais áreas envolvidas direta e indiretamente na sua operação. Por exemplo, a gestão do CC deve compreender os momentos de pico das áreas de transporte e internação e tentar agendar seu pico de cirurgias em momentos mais tranquilos para estas áreas. Tentar reduzir o pico de cirurgias no primeiro horário também pode ajudar a gestão de todo o restante do hospital que trabalha para atender as necessidades do CC. Ter vários primeiros horários e não apenas um pode ser uma saída para isto.

### Modelagem de eventos discretos

Para modelar parte das soluções propostas acima, inicialmente foi elaborado um cenário (cenário I) que recebeu a carga de dados reais. Foram parametrizadas as 14 salas cirúrgicas, número de cirurgias em atraso, tempo de atraso e tempo de ocupação das salas cirúrgicas, em 10 replicações de 354 dias. O modelo I teve por objetivo simular a realidade e validar o modelo de simulação. Observa-se que o modelo I apresentou forte similaridade com a realidade (Tabela I). Os resultados desta modelagem traduzem o que a análise dos dados indicava. O CC tem uma grande quantidade de cirurgias iniciando com atraso e com alto tempo de atraso.

O cenário 2 simulou a aplicação da TCC para a demanda atual de cirurgias, porém deixou 1 sala livre, funcionando como um pulmão de capacidade, conforme prega a Teoria da Corrente Crítica. O pulmão serve como segurança (folga) para todas as cirurgias do CC. Ao mesmo tempo, retirou-se 50% da folga média existente em cada cirurgia. Os resultados são apresentados na Tabela I. Os resultados da simulação mostram que o uso da TCC melhorou significativamente os indicadores do CC. Mesmo mantendo o volume de cirurgias por dia, observou-se uma queda no número de cirurgias iniciando com atrasos, de 94,5% para 58,3%. O atraso médio caiu de 54' para 35', uma redução de 35%. A taxa de utilização média dos CC e o número de pacientes/dia permanecem os mesmos, pois não foi alterada a demanda diária por cirurgias.

**Tabela I** - Comparação: Realidade x Modelo da Situação Atual Simulado

Procedimento	Real		Modelo simulando a situação real com períodos do dia destacados		Modelo simulando 13 salas agendadas e 1 sala de Buffer (Pulmão)	
Procedimentos atrasados	11693	94,5%	11728	94,5%	7276	58,3%
Procedimentos no horário	685	5,5%	679	5,5%	5205	41,7%
Total de Procedimentos	12378	100,00%	12407	100,00%	12481	100%
Dias totais de operação	354		354		354	
Pacientes/dia em média	35,0		35,0		35,0	
Duração média ponderada do atraso TOTAL	54'		60'		34'	
Duração média ponderada do procedimento TOTAL	102'		102'		102'	
Duração média ponderada da folga TOTAL	56'		67'		34'	

Fonte: Autores

## CONCLUSÃO

Esse estudo teve como objetivo entender a dinâmica e as razões dos atrasos nas cirurgias de um centro cirúrgico, e propor uma nova política para o processo de agendamento baseado na Teoria da Corrente Crítica, a fim de minimizar os atrasos. Para se ter uma dimensão do problema, foi realizada uma análise descritiva dos dados coletados junto ao hospital que mostrou que 89% das cirurgias são iniciadas depois do horário agendado. Com a intenção de encontrar as causas dos atrasos, foi realizada uma análise sistêmica dos processos envolvidos nas cirurgias.

Caracterizado o problema, foi levantada a hipótese de que a Teoria da Corrente Crítica seria uma solução viável. Para testar essa hipótese, foram realizadas simulações computacionais de eventos discretos. Os resultados mostraram que a TCC se mostrou eficiente, reduzindo em 40% o número de atrasos e em 30% a duração média dos atrasos.

Ao final da pesquisa foi recomendado aos gestores do centro cirúrgico que tenham um olhar sistêmico e levem em consideração a operação de todas as áreas do hospital que podem afetar o bom funcionamento do CC.

O processo de agendamento, por sua vez, tem papel crucial na gestão das incertezas e variabilidades de um CC. Ao invés de se colocar excesso de folga em cada cirurgia, deve-se colocar pulmões de capacidade na forma de “salas livres” em determinados períodos. Estas salas têm a função de acomodar as variações naturais da duração das cirurgias. Além disto, recomenda-se o uso de incentivos para promover o comportamento pontual de médicos, pacientes, enfermeiros, entre outros e para reduzir os picos das cirurgias em determinados períodos. É necessário ainda investimentos na transparência das informações sobre horários, remarcações e atrasos e na comunicação entre os atores envolvidos no processo.

Futuras pesquisas podem validar na prática o modelo proposto, com uso de técnicas de *action research*. Possibilidades adicionais de pesquisa referem-se à aplicação da TCC em outras áreas hospitalares, como a emergência e a internação, que não são menos complexas e sujeitas a incertezas e variabilidade. Atuar diretamente nas causas dos atrasos também é conjectura para pesquisas vindouras.

## REFERÊNCIAS

- AKBARZADEH, B. et al. A diving heuristic for planning and scheduling surgical cases in the operating room department with nurse re-rostering. **Journal of Scheduling**, v. 23, n. 2, p. 265–288, 2020.
- BATUN, S. et al. Operating room pooling and parallel surgery processing under uncertainty. **INFORMS Journal on Computing**, v. 23, n. 2, p. 220–237, mar. 2011.
- BLAKE, J. T.; CARTER, M. W. Surgical process scheduling: a structured review. **Journal of the Society for Health Systems**, v. 5, n. 3, p. 17–30, 1 jan. 1997.
- CARDOEN, B.; DEMEULEMEESTER, E.; BELIËN, J. Operating room planning and scheduling: A literature review. **European Journal of Operational Research**, v. 201, n. 3, p. 921–932, 2010.
- CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda., 2014.
- DE SNOO, C.; VAN WEZEL, W.; JORNA, R. J. An empirical investigation of scheduling performance criteria. **Journal of Operations Management**, v. 29, n. 3, p. 181–193, mar. 2011.
- DEXTER, F. et al. An operating room scheduling strategy to maximize the use of operating room block time: Computer simulation of patient scheduling and survey of patients’ preferences for surgical waiting time. **Anesthesia and Analgesia**, v. 89, n. 1, p. 7–20, 1999.
- GOLDRATT, E. M. **Critical Chain**. New York: The North River Press, 1997.
- GOLDRATT, E. M. **Critical Chain : A Business Novel**. [s.l.] Routledge, 2017.

- GOLDRATT, E. M.; COX, J. **The goal: an ongoing improvement process.** [s.l.: s.n.].
- GOLDRATT, E. M.; COX, J. **The Goal: Excellence in Manufacturing.** [s.l.] North River Press, 1984b.
- HANS, E. W.; NIEBERG, T. Operating Room Manager Game. **INFORMS Transactions on Education**, v. 8, n. 1, p. 25–36, 2007.
- JEBALI, A.; HADJ ALOUANE, A. B.; LADET, P. Operating rooms scheduling. **International Journal of Production Economics**, v. 99, n. 1–2, p. 52–62, 2006.
- LUIZ, O. R. et al. Linking the Critical Chain Project Management literature. **International Journal of Managing Projects in Business**, v. 12, n. 2, p. 423–443, 3 jun. 2019.
- MACARIO, A. et al. Where are the costs in perioperative care? Analysis of hospital costs and charges for inpatient surgical care. **Anesthesiology**, v. 83, n. 6, p. 1138–44, 1995.
- MACARIO, A. Are Your Hospital Operating Rooms “Efficient”? **Anesthesiology**, v. 105, n. 2, p. 237–240, ago. 2006.
- MCMANUS, M. L. et al. Variability in surgical caseload and access to intensive care services. **Anesthesiology**, v. 98, n. 6, p. 1491–1496, 1 jun. 2003.
- MIN, D.; YIH, Y. Scheduling elective surgery under uncertainty and downstream capacity constraints. **European Journal of Operational Research**, v. 206, n. 3, p. 642–652, 1 nov. 2010.
- NEPOTE, M.; MON. Associação entre os índices operacionais e a taxa de ocupação de um centro cirúrgico geral. **Rev Latino-Am Enfermagem**, v. 17, n. 4, p. 1–6, 2009.
- PROTIL, R. M.; STROPARO, J. R.; BICHINHO, G. L. **Applying computer simulation to increase the surgical center occupation rate at a university hospital in Curitiba - Brazil.** Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference. **Anais...2008**
- RAZ, T.; BARNES, R.; DVIR, D. A Critical Look at Critical Chain Project Management. **Project Management Journal**, v. 34, n. 4, p. 24–32, 1 dez. 2003.
- ROBINSON, H.; RICHARDS, R. **Critical chain project management: Motivation & overview.** IEEE Aerospace Conference Proceedings. **Anais...2010**
- STERMAN, J. D. **Business Dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world.** [s.l.] McGraw Hill, 2000.
- STRATTON, R.; KNIGHT, A. Managing patient flow using time buffers. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 21, n. 4, p. 484–498, 1 jan. 2010.
- UMBLE, M.; UMBLE, E.; MURAKAMI, S. Implementing theory of constraints in a traditional Japanese manufacturing environment: The case of Hitachi Tool Engineering. **International Journal of Production Research**, v. 44, n. 10, p. 1863–1880, 2006.
- VAN OOSTRUM, J. M. et al. A master surgical scheduling approach for cyclic scheduling in operating room departments. **OR Spectrum**, v. 30, n. 2, p. 355–374, 21 abr. 2008.
- WEINBROUM, A. A.; EKSTEIN, P.; EZRI, T. Efficiency of the operating room suite. **American Journal of Surgery**, v. 185, n. 3, p. 244–250, 1 mar. 2003.
- WEISSMAN, C. The enhanced postoperative care system. **Journal of Clinical Anesthesia**, v. 17, n. 4, p. 314–322, 2005.
- WOLF, F. A.; WAY, L. W.; STEWART, L. The Efficacy of Medical Team Training: Improved Team Performance and Decreased Operating Room Delays. **Annals of Surgery**, v. 252, n. 3, p. 477–85, 2010.

WONG, J. et al. Delays in the operating room: Signs of an imperfect system. **Canadian Journal of Surgery**, v. 53, n. 3, p. 189–195, 2010.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos**. 5. ed. [s.l.] Bookman, 2014.

YOUN, S. et al. Adaptive Capacity Planning for Ambulatory Surgery Centers. **SSRN Electronic Journal**, 15 out. 2019.

YOUNESPOUR, M. et al. Using mixed integer programming and constraint programming for operating rooms scheduling with modified block strategy. **Operations Research for Health Care**, v. 23, 1 dez. 2019.