



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL  
CAMPUS DE CHAPECÓ  
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**MATHEUS DIAS NEGRÃO**

**MODELAGEM DE COMPORTAMENTOS NÃO TRIVIAIS EM SIMULAÇÕES PARA  
TERMINAIS AEROPORTUÁRIOS DE PASSAGEIROS**

**CHAPECÓ  
2020**



**MATHEUS DIAS NEGRÃO**

**MODELAGEM DE COMPORTAMENTOS NÃO TRIVIAIS EM SIMULAÇÕES PARA  
TERMINAIS AEROPORTUÁRIOS DE PASSAGEIROS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação da Universidade Federal da Fronteira Sul.  
Orientador: Prof. Dr. Braulio Adriano e Mello

**CHAPECÓ**  
**2020**

Negrão, Matheus Dias

Modelagem de comportamentos não triviais em simulações para terminais aeroportuários de passageiros / Matheus Dias Negrão. – 2020. 34 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Braulio Adriano e Mello.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Universidade Federal da Fronteira Sul, curso de Ciência da Computação, Chapecó, SC, 2020.

1. Técnicas de Modelagem. 2. Simulação Computacional. 3. Comportamento não trivial. 4. Terminal Aeroportuário de Passageiros. I. Mello, Prof. Dr. Braulio Adriano e, orientador. II. Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

**MATHEUS DIAS NEGRÃO**

**MODELAGEM DE COMPORTAMENTOS NÃO TRIVIAIS EM SIMULAÇÕES PARA  
TERMINAIS AEROPORTUÁRIOS DE PASSAGEIROS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação da Universidade Federal da Fronteira Sul.

Orientador: Prof. Dr. Bráulio Adriano e Mello

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca avaliadora em: 15/12/2020.

**BANCA AVALIADORA**

---

Prof. Dr. Bráulio Adriano e Mello – UFFS

---

Prof. Dr. Claunir Pavan – UFFS

---

Prof. Dr. Emílio Wuerges – UFFS



## RESUMO

A utilização de modelagem e simulação computacional é uma abordagem benéfica para representação de terminais aeroportuários de passageiros, visto que geralmente tais ambientes são um grande centro de encontro e movimentação de pessoas de diversas regiões nacionais e internacionais diferentes, além de, em alguns casos, ser uma fronteira para entrada no país. As ferramentas de simulação de propósito geral são as mais indicadas para modelagem desses ambientes, pois com elas é possível criar modelos de forma ampla e com o menor número de complexidade. Porém, mesmo produzindo de forma completa o modelo de terminais de passageiros, existem múltiplos fatores influenciam em alguns elementos, tornando-os comportamentos não triviais, devido a necessidade da utilização de vários componentes das bibliotecas das ferramentas para modelar um único elemento do ambiente. Técnicas de modelagem para tais componentes podem ser definidas, estudando como os fatores externos impactam nos elementos e os seus requisitos para representações ferramentas de propósito geral. Através das técnicas definidas, elas podem ser implementadas na estrutura de código de uma ferramenta de simulação que permita alterações em suas bibliotecas. Com isso os modelos de terminais aeroportuários de passageiros serão modelados de forma mais simples e com menos custos computacionais e temporais, visto que reduzirá a quantidade de componentes das bibliotecas utilizados.

Palavras-chave: Técnicas de Modelagem. Simulação Computacional. Comportamento não trivial. Terminal Aeroportuário de Passageiros.





## **ABSTRACT**

The use of computer modeling and simulation is a beneficial approach for the representation of airport passenger terminals, as these environments are generally a center for meeting and moving people from different national and international regions, in addition to, in some cases, being a border for people entry into the country. The general purpose simulation tools are the most suitable for modeling these environments, because with them it is possible to create models in a wide way and with the least complexity. However, even producing the passenger terminal model completely, there are multiple factors that influence some elements, making them non-trivial behaviors, due to the need to use any components of the tool libraries to model a single element of the environment. Modeling techniques for such components can be defined, studying how external factors impact elements and their requirements for general purpose tool representations. Through the defined techniques, they can be implemented in the code structure of a simulation tool that allows changes in their libraries. With this, the models of airport passenger terminals will be modeled in a simpler way and with less computational and temporal costs, since it will reduce the amount of components of the used libraries.

**Keywords:** Modeling Techniques, Computer Simulation, Non-trivial Behaviors, Airport Passenger Terminal



## **LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Diagrama de Modelagem . . . . . | 22 |
|--|----|



## **LISTA DE TABELAS**

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 – Cronograma previsto para as atividades propostas. . . . . | 31 |
|--|----|



## SUMÁRIO

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO . . . . .</b>   | <b>15</b> |
| 1.1      | PROBLEMÁTICA . . . . .  | 15        |
| <b>2</b> | <b>OBJETIVOS . . . . .</b>  | <b>17</b> |
| 2.1      | OBJETIVO GERAL . . . . .  | 17        |
| 2.2      | OBJETIVOS ESPECÍFICOS . . . . .   | 17        |
| 2.3      | JUSTIFICATIVA . . . . .   | 17        |
| <b>3</b> | <b>REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO . . . . .</b>                                  | <b>21</b> |
| 3.1      | MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL . . . . .                               | 21        |
| 3.2      | SIMULAÇÃO PROPÓSITO GERAL . . . . .   | 23        |
| <b>4</b> | <b>TRABALHOS CORRELATOS . . . . .</b>                                       | <b>27</b> |
| <b>5</b> | <b>MÉTODO DE PESQUISA . . . . .</b>   | <b>29</b> |
| 5.1      | IDENTIFICAÇÃO DE COMPORTAMENTOS NÃO TRIVIAIS . . . . .                      | 29        |
| 5.2      | ELABORAÇÃO DE TÉCNICAS PARA MODELAGEM DE COMPONENTES NÃO TRIVIAIS . . . . . | 29        |
| 5.3      | EXPERIMENTAÇÃO . . . . .  | 30        |
| <b>6</b> | <b>CRONOGRAMA . . . . .</b>   | <b>31</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>  | <b>33</b> |





# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 PROBLEMÁTICA

A simulação computacional tem características vantajosas na representação de comportamentos do mundo real. Considerada por Shannon (15), como uma abordagem poderosa, os resultados de uma simulação permitem realizar diversos estudos e análises em etapas de projeto de sistemas novos ou para a intervenção em sistemas existentes. No entanto, a construção de modelos para sistemas com comportamentos mais complexos ou não triviais, presentes em alguns sistemas, podem exigir métodos ou recursos de simulação mais especializados para comportá-los. Em razão disso, as ferramentas de modelagem e simulação computacional têm que se adaptar a essas situações não triviais para conseguir suprir todas as necessidades, como sugere Pidd (12).

Um recorte de tal complexidade são as modelagens de simulação para os processos da aviação comercial, nos quais há diversos elementos influenciando o seu funcionamento. Em Suryani; Chou; Chen (18) são estabelecidos métodos de modelagem para simulação de terminais aeroportuários de carga, onde os autores fazem análises com os fatores mais relevantes para a demanda de carga aérea. Observando um cenário semelhante, os terminais de aeroportuários de passageiros também são tão complexos quanto e têm diversos componentes em seu fluxo que possuem diversas atividades relacionadas em um único componente, tornando o trabalho de modelagem desses eventos mais complexo.

Ao observar o panorama da aviação comercial de passageiros nos últimos anos é possível notar que houve um grande aumento do número de pessoas viajando pelo meio aeroviário. Com o avanço da tecnologia e o crescimento da globalização, as pessoas estão fazendo mais viagens aéreas do que em toda história. Isso se dá, em parte, por conta da criação de mais linhas aéreas chamadas de *low cost* e *low fare*, que operam com custos mais baixos, o que impacta em passagens mais baratas para o viajante e em uma malha de destino mais ampla (6). Com passagens mais baratas e mais pessoas viajando, os aeroportos acabam não sustentando a quantidade de voos e de pessoas nos terminais de passageiros, gerando assim atrasos, cancelamentos, *overbooking* e diversos outros impasses.

Arelado a todos os componentes não habituais de um sistema aeroportuário, há também a ocorrência de eventos não esperados para o sistema aeroportuário, como é o caso da pandemia mundial causada pelo vírus *SARS-CoV2* em 2020. Por conta desse evento houve uma queda significativa quantidade de voos com passageiros. Porém com a estabilidade de casos e o retorno das atividades econômicas e comerciais, os voos foram retomados e, conseqüentemente, o número de passageiros circulando pelos aeroportos tem aumentado novamente. Para impedir a propagação do vírus, diversas medidas sanitárias devem ser tomadas, o que gera ainda mais complexidade na modelagem de componentes 'não triviais' abordados no sistema do terminal de passageiros.

Ao tratar de modelagem e simulação computacional para terminais aeroportuários, a especificação de entidades e componentes é complexa, visto que alguns desses componentes envolvem diversas áreas, como: aviação, física, logística, computação entre outras. O avanço no campo da modelagem e simulação para previsão de demanda de carga aérea é demonstrado por estudos que fazem uso de técnicas que podem ser utilizadas para a expansão de terminais de carga em aeroportos. Como demonstrado por Suryani; Chou; Chen (18), o estudo faz uso de projeções em cenários otimistas e pessimistas, que levam em consideração análises econômicas além de outras variáveis atreladas. Porém, quando se trata de terminais de passageiros, variáveis atuais novas, como mudança dos protocolos de fluxo de passageiros, intensificam os desafios para manutenção da agilidade, correção e produtividade das técnicas e ferramentas de simulação.

Habitualmente, em modelagens de aeroportos realizadas em softwares de simulação de propósito geral, os modelos ficam limitados a bibliotecas e componentes gerais, como de pedestres e movimentação dos mesmos dentro do ambiente muitas vezes. Os serviços não triviais são modelados em um nível de abstração mais alto (detalhamento superficial de eventos) e abordadas apenas como um serviço e/ou entidade dentro do modelo. A redução, na modelagem, de detalhes importantes do sistema real tende a reduzir a precisão e utilidade dos resultados da simulação.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Identificação e desenvolvimento de técnicas para modelagem de comportamentos não triviais em modelos de simulações computacionais de terminais aeroportuários de passageiros.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificação de comportamentos não triviais observados em terminais aeroportuários de passageiros e análise dos requisitos para sua representação em ferramentas de simulação de propósito geral;
- Especificação de técnicas de modelagem para tratamento de comportamentos não triviais em terminais aeroportuários de passageiros;
- Adequação/adição de funcionalidades em uma ferramenta de simulação de propósito geral para representação de comportamentos em terminais aeroportuários de passageiros.

### 2.3 JUSTIFICATIVA

Com cada vez mais demonstrações de que o uso de simulação computacional é vantajoso em diversos campos de estudo, o seu uso facilita a demonstração de cenários que só poderiam ser observados no sistema real, o que muitas vezes é inviável. Tendo em vista esse crescimento no uso de simulação computacional, a complexidade dos sistemas a serem modelados também aumentam, logo demandam mais conhecimento para se modelar. O emprego de técnicas de modelagem para simulação é uma solução vantajosa, pois trás certa segurança (autonomia para mudanças ou experimentos sem risco de danos ao sistema real) para quem está modelando sobre o que se deve modelar. Na aviação civil, grande parte dos procedimentos e sistemas são complexos e envolvem vários campos de estudo, portanto a modelagem de um sistema de terminais aeroportuários requer um nível de conhecimento elevado das variáveis que interferem nos processos e protocolos para fluxos e controle de passageiros.

Levando em conta o aumento no número de pessoas viajando por meios aéreos e a redução das tarifas aeroportuárias, as dificuldades de alocar estes passageiros nos terminais dos aeroportos se torna cada vez mais visível. Isto porque quanto mais passageiros procurarem passagens, mais voos serão disponibilizados e mais baratos, o que pode promover a imprevistos no fluxo em terminais, gerando atrasos e até multas monetárias para companhias aéreas. Alguns dos pontos que podem causar tal desorganização é a disposição física de certas áreas em que o passageiro tem que passar, o que deixa o passageiro confuso e o sistema sobrecarregado.

O uso da simulação computacional como previsão de comportamentos do mundo real já é utilizado amplamente em diversas áreas. Com o custo relativamente baixo quando comparado a outras formas de análise, com parâmetros bem estimados e modelados da forma correta, o resultado da simulação tende a ser preciso e detalhado. Quando se trata de modelagem de sistemas de simulação para terminais aeroportuários há ferramentas de simulação que contemplam os recursos fundamentais para modelagem desses sistemas, mas podem não ter uma forma eficiente, tanto em tempo de modelagem quanto em recursos computacionais, para a modelagem de fluxos ou eventos não triviais. Isto gera demanda por técnicas ou métodos para reduzir o esforço, custo e tempo de modelagem e simulação.

O sistema aeroportuário é complexo e grande, uma modelagem bem detalhada de um aeroporto específico demanda tempo e uma equipe qualificada, o que nem sempre é possível para aeroportos de cidades pequenas e médias. Tal sistema compreende um série de elementos que devem ser operados em conjunto para que não haja falhas, deve haver harmonia entre as regras da aviação e os serviços prestados aos passageiros, além de diversos outros procedimentos como: serviços alfandegários, restituição de bagagens, controle de segurança, etc.

A definição de estratégias para criação de modelos de simulação para terminais de passageiros é benéfica para a redução da complexidade na modelagem dos sistemas e procedimentos aeroportuários. Com a especificação de tais estratégias, o trabalho de modelagem se torna menos complexo, podendo ser realizado por pessoas que não tenham um conhecimento prévio aprofundado em simulação computacional. Além disso, os produtos finais das simulações são, então, menos custosos e com componentes bem especificados.

A aplicação de técnicas de simulação, concebidas tendo os sistemas aeroportuários de passageiros como cenário de desenvolvimento, não se restringem a esses sistemas. Uma vez incorporadas em uma ferramenta, podem ser aplicadas na modelagem de comportamentos similares em quaisquer observados em quaisquer outros cenários ou sistemas. As ferramentas de simulação de propósito geral buscam abranger o maior número de sistemas possíveis para se modelar, o que implica na definição de componentes mais básicos e independentes de qualquer característica que limite a capacidade de representação das ferramentas. Há alguns softwares de simulação de propósito específico, como por exemplo a ferramenta *ns-3*, que é produzida para simular redes e seus protocolos especificamente. No entanto, a construção de simuladores específicos é exceção.

Para a grande maioria dos sistemas, como terminais aeroportuários, é mais produtivo a inclusão de funcionalidades mais elaboradas em ferramenta de propósito geral. Os sistemas de terminais aeroportuários, em geral, são modelados com o uso de bibliotecas não específicas para aeroportos, exigindo mais esforço, conhecimento e tempo para alcançar resultados úteis. Por isso, a especificação de técnicas para tratar esses componentes é benéfica ao trazer, com mais facilidade, a modelagem dos comportamentos não triviais, o que torna o modelo mais simples de se criar e analisar. Além de reduzir o custo geral, tanto na modelagem pelo melhor suporte do ambiente de simulação para modelar comportamento não triviais (evitando o trabalho de

agrupamento de vários componentes básicos para representar um comportamento não trivial), como na própria execução da simulação.

Utilizando das técnicas e tratando os comportamentos não triviais de forma mais minuciosa, os modelos gerados a partir de ambientes de terminais de passageiros em aeroportos serão mais completos e concisos, utilizando a menor quantidade de recursos e garantindo a funcionalidade por completo da simulação do ambiente modelado.



### 3 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

Este capítulo apresenta um breve referencial de alguns fundamentos básicos para a compreensão e elaboração do trabalho.

#### 3.1 MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

O conceito de simulação é utilizado em diversos campos do conhecimento, considerado por Schriber (14), como a implicação na modelagem de um processo ou sistema, de modo que o modelo imite as respostas do sistema real em uma sequência de eventos ao decorrer do tempo. O uso de métodos de simulação computacional começou por volta da década de 1950, de acordo com Pidd (12), a simulação é baseada em uma abordagem experimental de um sistema ou um jogo, podendo ser útil como auxílio na tomada de decisões, com a intenção de testar uma nova política ou uma nova forma de organização antes de ser colocada em prática no mundo real.

O uso de simulação se tornou cada vez mais relevante, pois a sua principal vantagem é a de que o ambiente e/ou sistema que está sendo simulado não sofre quaisquer alterações, ou seja, ambientes que não existem podem ser modelados e simulados, onde diferentes fluxos e procedimentos podem ser testados e conseqüentemente gerar uma otimização para o ambiente original ou validar que aquele procedimento não é ideal para ser implantado. Portanto, há inúmeros sistemas e ambientes que podem ser simulados, como sistemas de produção, transporte, computacionais e de prestações de serviço como descreve Filho (9).

Segundo Ferscha; Tripathi (8), basicamente todo modelo de simulação é a especificação de um sistema físico, definido por estados e eventos. A simulação imita a ocorrências de eventos ao longo do tempo e identifica seus efeitos representados pelos estados, como descreve. Na simulação contínua, as mudanças de estado acontecem ao longo do tempo, porém, na simulação discreta, a ocorrência do evento é instantânea e está fixada em determinado ponto no tempo. Para que um sistema real seja modelado e simulado com o rigor necessário, as atividades realizadas devem seguir uma ordem. A figura 1 exemplifica o fluxo de atividades a ser seguido, demonstrando o procedimento desde a especificação do problema que se quer resolver até a documentação gerada pelo produto final da simulação, incluindo pontos onde o trabalho realizado deve ser validado, para que ao final a simulação seja precisa traga o resultado esperado.

Após a especificação do problema se inicia a modelagem do sistema, ou seja, a identificação de todos elementos relevantes e o fluxo do sistema. De acordo com Shannon (15), o início do processo de modelagem se dá com a especificação do sistema de interesse, o ambiente em que está sendo operado, quais são os objetivos do sistema e o propósito do estudo em cima da simulação, além de elencar quatro apontamentos importantes:

1. A especificação do propósito do modelo;

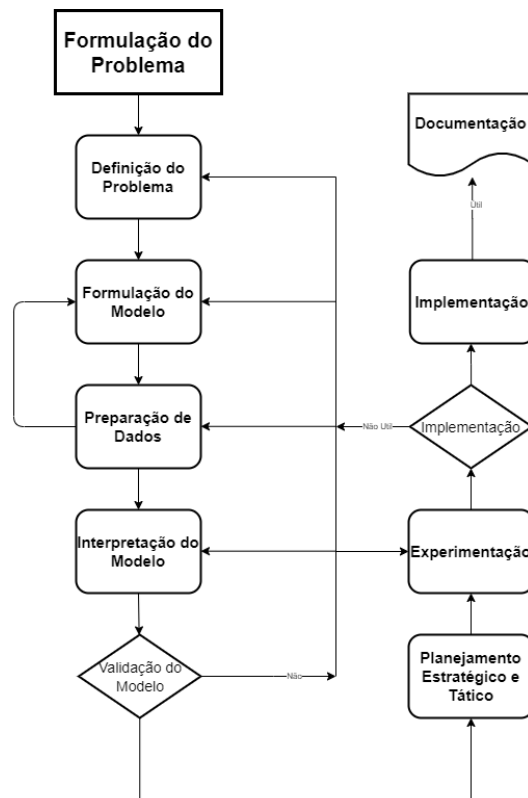


Figura 1 – Diagrama de Modelagem

Fonte – adaptado de Shannon (15)

2. A especificação dos componentes que devem ser incluídos no modelo;
3. A especificação dos parâmetros e das variáveis relacionadas aos componentes;
4. A especificação da relação funcional entre os componentes, parâmetros e as variáveis.

Esse processo envolve a especificação de todos os componentes do sistema que se quer simular e a verificação de inclusão ou não de tais componentes no modelo. Conforme Pidd (12) a modelagem é o processo de simplificação e abstração, onde o modelador tenta isolar os fatores cruciais na operação do sistema que está sendo modelado. Os procedimentos realizados são necessários para garantir que o sistema seja modelado com precisão e que nenhum procedimento deixe de ser representado no modelo.

Entre algumas etapas do fluxo há pontos de validação do trabalho realizado, onde é verificado se o modelo está ou não de acordo com o proposto. Em alguns casos pode ser necessário que o processo de modelagem retroceda para que as correções devidas possam ser realizadas.

Em modelos de simulações maiores e/ou mais complexas, o uso de técnicas de simulação distribuída podem ser aplicadas, dividindo uma única simulação em um conjunto de processos paralelos ou distribuídos.



A simulação paralela é definida pela distribuição da execução de apenas uma simulação de evento discreto através de múltiplos processadores em alta performance no sistema computacional. Também pode ser distribuída na forma de multiprocessadores de memória compartilhada de computadores em *cluster*. Segundo Fujimoto (10) o principal objetivo da simulação distribuída é a execução mais rápida da simulação.

A simulação distribuída pode ser vista como um conjunto de simulações sequenciais discretas, que interagem pela troca de mensagens em determinado período. Cada mensagem é definida como a representação do envio de um evento de uma simulação para outra. Cada um dessas simulações é chamada de Processo Logico (LP).

Para garantir que a execução da simulação distribuída seja consistente, alguns mecanismos de controle são necessários, como o gerenciamento de tempo virtuais que é imprescindível para a sincronização entre os componentes da simulação. Para isso cada componente possui um controle de tempo local, o tempo virtual local (LVT) (13), que é definido por um marcador de tempo conforme a ocorrência dos eventos.

Sabendo que é possível utilizar simulação para sistemas de qualquer tamanho e complexidade, pode se dizer que a simulação pode ser utilizada em diversas áreas de estudo e empregada para múltiplos propósitos.

### 3.2 SIMULAÇÃO PROPÓSITO GERAL

A simulação computacional pode ser aplicada com diversos propósitos, de acordo Shannon (15) alguns desses propósitos são: Avaliação, comparação, pre-dicção, análise sensitiva e otimização. Utilizar a modelagem e simulação computacional como forma de análise de sistema é um método vantajoso por variados motivos, dentre eles a visualização e ajuste de componentes sem comprometer o sistema inicial.

De acordo com Carson (5) A simulação permite a identificação de problemas, gargalos e falhas de design depois do sistema já ter sido construído e implementado. Um bom modelo de simulação oferece não só uma mensuração numérica do sistema, mas também uma melhor fundamentação da performance do mesmo. Os resultados da simulação podem oferecer uma visão inteligente do uso de componentes visuais e outros experimentos validos para uma boa análise estatística.

Uma análise de sistema satisfatória depende de um (software) que seja capaz de simular da melhor forma possível o modelo daquele determinado sistema. Para que isso aconteça, segundo Carson (5), o modelo deve ser adequado para aquele (software) de simulação. Os (softwares) de simulação e os pacotes deles por sua vez podem ter domínios de estudo amplos ou especializados, como é o caso das áreas médica e de produção manufaturada.

É colocado por Carson (5) que as ferramentas de simulação e seus pacotes podem oferecer níveis de detalhes diferentes, formas de uso diferentes e também habilidades necessárias distintas para operar tais (softwares). Algumas ferramentas de propósito específico podem

demandar conhecimento prévio em programação para sua utilização, enquanto as ferramentas de propósito geral procuram deixar sua interface o mais simples e fácil de usar.

De acordo com Martinez; Ioannou (11) as ferramentas de propósito geral tem a premissa de ser amplas e capazes de modelar o maior número de sistemas possíveis com a menor complexidade. Elas são voltadas para o maior número de pessoas que eventualmente precisem modelar e simular algum ambiente. Martinez; Ioannou (11) também coloca que as ferramentas de simulação de propósito específico são construídas para solucionar problemas e realizar análises em sistemas especiais ou específicos, seguindo as necessidades daquela área. Geralmente tais ferramentas estão voltadas para estudos acadêmicos e/ou sistemas complexos e restritos.

O uso de ferramentas de simulação específicas pode ser exemplificado em projetos de redes de computadores, onde segundo Siraj; Gupta; Badgujar (17), tais ferramentas podem ser utilizadas para modificar e testar novos protocolos, simulando cenários caros de serem testados no mundo real. Um dos (softwares) de simulação para redes que pode ser mencionado é o ns-3 (*network simulator 3*). Baseada em simulação discreta de eventos, a ferramenta é um (software) livre desenvolvido primariamente para fins acadêmicos que está disponível para uso público (2).

Em contra partida os (softwares) de simulação de propósito geral se tornam atraentes por sua facilidade de operação, adotando algumas funcionalidades como "apontar e clicar" que deixam a modelagem descomplicada. Carson (5) descreve que os pacotes das ferramentas tem desempenho satisfatório para representação de modelos de pequena e média complexidade e também na rápida modelagem desses ambientes, não sendo necessário, em sua maioria, habilidades em programação.

A possibilidade de usar uma única ferramenta para solução de diversos problemas de diversos sistemas as torna mais atraente. Além da centralização de diversos modelos em uma única ferramenta que contenha pacotes amplos e com múltiplos propósitos. Muitas dessas ferramentas oferecem, além da simplicidade e facilidade, licenças para estudo e pesquisa, o que amplia o público de utilização para acadêmicos e pesquisadores.

Dentre os diversos (softwares) de simulação de propósito geral, é possível exemplificar três deles. O FlexSim é um (software) de simulação discreta de eventos, com uma representação em interface que permite a modelagem de ambientes em 2D e 3D. Focado em soluções e análises em sistemas logísticos, a ferramenta disponibiliza uma biblioteca padrão, onde os modelos podem ser criados de forma rápida e descomplicada, além de permitir a edição e criação de novos componentes. Contudo, a utilização do (software) é paga e disponibiliza apenas uma versão de avaliação gratuita (1).

O ARENA também é um (software) de simulação discreta de eventos, com foco a representação de comportamentos e fluxos industriais, militares e empresariais. A ferramenta oferece blocos de montagens pré-definidos para modelagem simples, além de oferecer também a opção de customização, suportando representações de ambientes de mineração, trânsito, portos e aeroportos. Assim como o FlexSim, o ARENA disponibiliza uma versão para avaliação gratuita, além de uma versão para estudantes que contém exatamente as mesmas funcionalidades

e limitações (1).

o AnyLogic é um (software) de simulação multi-método, abordando tanto simulação discreta como simulação baseada em agente e também sistemas dinâmicos. A ferramenta tem como padrão algumas bibliotecas variadas, como as de pedestres e tráfego, o que torna possível a modelagem de inúmeros sistemas, como malhas ferroviária e modelagem de sistema de fluidos. O Anylogic permite que alterações em código sejam feitas, ou seja, a possibilidade de acrescentar ou modificar funções nas bibliotecas da ferramenta. O *software* é disponibilizado em três versões: a versão gratuita, que assim como no ARENA é a versão para estudantes. Uma versão para pesquisadores universitários, onde são disponibilizados alguns recursos além da versão gratuita. E também a versão paga, assim como as outras ferramentas citadas (16).

Alguns exemplos de modelagem produzidos no AnyLogic podem ser observados nos trabalhos de Bahr et al. (3) e Yang; Li; Zhao (19), onde são modelados um terminal de passageiros aeroportuário e uma estação de metro, respectivamente. O AnyLogic se mostra versátil e completo na modelagem desses ambientes, apresentando uma representação descomplicada através de suas bibliotecas e objetos. O *software* supre bem modelos médios e simples, porém quando colocados em modelos grandes e complexos, a complexidade na solução de alguns componentes aumenta.

Quando as ferramentas de simulação comentadas são utilizados para modelagem de sistemas grandes e/ou complexos, é possível visualizar que alguns pontos do ambiente são simplificados para que possam serem representados pelas bibliotecas padrão das ferramentas, ou até mesmo a junção de vários blocos das bibliotecas para representar um único componente do ambiente real. Também é possível identificar, através dos estudos mencionados, comportamentos não triviais em diferentes situações, o que mostra que o foco das ferramentas de simulação de propósito geral é abranger o maior número de sistemas, simplificando-os ou não.

Algumas ferramentas de simulação de propósito geral permitem a edição do código fonte de alguns componentes e bibliotecas utilizadas na modelagem, o que torna possível a adequação de tais componentes para suprir as necessidades da modelagem de comportamentos não triviais presentes nos ambientes a serem modelados. Com isso é possível solucionar impasses relacionados ao detalhamento dos comportamentos não triviais, bem como otimizar a ferramenta para que possa simular tal comportamento de forma satisfatória. Porém, para que o ambiente seja modelado da melhor forma, os estudos se iniciam antes da modelagem em si.

Comportamentos não triviais presentes nos ambientes podem ser estudados e técnicas para modelá-los podem ser especificadas, deixando claro quais são as partes cruciais do comportamento e a melhor forma de tratá-lo na modelagem. Estudos relacionados aos ambientes em que esses comportamentos são mais presentes já estão sendo realizados. Em Suryani; Chou; Chen (18) são abordadas técnicas para identificação de fatores influenciadores desses comportamentos em modelagem de sistemas de terminais de carga aeroportuários, com a observação voltada à previsão de demanda de carga aérea.

Técnicas como as abordadas em Suryani; Chou; Chen (18) podem ser trabalhadas e

evoluídas também em outros ambientes, como os terminais de passageiros em aeroportos. O que torna os ambientes modelados menos complexos para estudos e mais acessíveis para uso de pessoal não especializado. A partir da definição e especificação de técnicas, é possível colocá-las a prova através da implementação e da edição de componentes, que é prevista em algumas das ferramentas de simulação de propósito geral.

#### 4 TRABALHOS CORRELATOS

É possível observar estudos relacionados à análise e especificação de técnicas para identificação e tratamento de comportamentos não triviais em modelos de simulação. Em Suryani; Chou; Chen (18) são realizados estudos acerca de fatores influenciadores na modelagem de sistemas aeroportuários, com o foco em terminais de carga. O trabalho trata e analisa diversos fatores que podem influenciar na ocupação, logística e na operacionalidade dos terminais de carga em aeroportos. Tais fatores podem ir desde o crescimento econômico de um país, como o espaço físico disponível para expansão dos terminais de carga.

Os autores montam, através dos fatores mencionados, estudos e análises para identificar estratégias que simplifiquem a modelagem de sistemas de terminais aeroportuários de carga. Entrelaçando as informações dos fatores influenciadores, são realizadas projeções de cenários otimistas e pessimistas usando os métodos e técnicas propostos no trabalho. A partir dos resultados, os autores fazem a relação entre o crescimento da demanda e a possibilidade de expansão do terminal de carga. As análises do trabalho se mostram relevantes na demonstração de estudo dos fatores influenciadores nas modelagens computacionais, deixando um caminho em aberto para mais evoluções acerca do tema e até aplicações das contribuições em cenários correlatos.

Alguns trabalhos aplicados na área da aviação e da engenharia utilizam de modelagem e simulação para realizarem análises em ambientes complexos e que contenham componentes não triviais. Bahr et al. (3) e Bastos; Baum; Correia (4) produzem, ambos, análises com base em simulação para sistemas aeroportuários, o primeiro em específico de terminais de passageiros aeroportuários. Em ambos os trabalhos são utilizadas ferramentas de simulação de propósito geral, tanto para modelar os ambientes escolhidos, tanto para extrair os dados e produzir a análises dos resultados da simulação.

Tais implementações tornam viável a visualização prévia de possíveis componentes não triviais nesses ambientes, demonstrando as dificuldades encontradas na modelagem e na simplificação ou junção de elementos das ferramentas para suprir as necessidades para representação dos detalhes de comportamento do ambiente modelado. Dentre os fatores que podem causar complexidade estão alguns fatores de espaço físico e também de organização do aeroporto, por exemplo. Através de trabalhos como o de Bahr et al. (3) é possível identificar as dificuldades encontradas no trabalho de modelagem usando apenas os recursos gerais presentes na ferramenta de simulação, o que sugere a adequação de técnicas e funcionalidades para essas ferramentas.

Além de estudos teóricos sobre técnicas de modelagens em ambientes complexos e de implementações de modelos completos, é possível observar outros trabalhos que estudam técnicas de tratamento de componentes e realizam experimentação em ferramentas de simulação de propósito geral em outros campos de estudo. Em Endrerud; Liyanage; Keseric (7) são abordadas técnicas de modelagem para uma simulação multi-método para decisões logísticas nos mares na Europa para manutenção em parques eólicos, onde as manutenções devem ocorrer

em intervalos de tempo para garantir que as turbinas operem corretamente durante o seu ciclo de operação.

O trabalho demonstra detalhes que impactam nas decisões logísticas para a manutenção das turbinas, como o funcionamento das turbinas, o vento e outros fatores. Os autores realizam toda a especificação e aplicam o modelo de decisões no *software* de simulação AnyLogic (16). A ferramenta foi escolhida pela sua editabilidade em código, o que possibilita a inclusão de métodos necessários para o melhor funcionamento da simulação, porém ainda necessita que a equipe que irá modelar o ambiente tenha conhecimento prévio em programação e na estrutura da ferramenta.

Com a possibilidade de edição indicada e a visualização do modelo proporcionada pelo trabalho, é previsto, neste trabalho, que as técnicas especificadas sejam implementadas e agregadas a uma ferramenta de propósito geral, como o AnyLogic.

## 5 MÉTODO DE PESQUISA

O presente trabalho visa, através de um estudo de casos, a identificação de estratégias para modelagem de comportamentos não triviais em modelos de simulação de terminais aeroportuários de passageiros. Serão analisados ambientes reais e seus componentes, bem como ferramentas de simulação de propósito geral e seus requisitos para representação de comportamentos não triviais.

### 5.1 IDENTIFICAÇÃO DE COMPORTAMENTOS NÃO TRIVIAIS

Através de modelos de simulação já elaborados em ferramentas de simulação de propósito geral, analisando os processos e impasses reais presentes em terminais de passageiros, será possível identificar os comportamentos não triviais presentes em modelagens desses ambientes (a). Tal identificação servirá para mapear componentes do ambiente real que foram simplificados e/ou distorcidos para que fosse possível sua representação através das bibliotecas padrão incorporadas na ferramenta de simulação.

Com os estudos já realizados de modelos produzidos em ferramentas de simulação de propósito geral, serão analisados requisitos para representação de componentes não triviais em diferentes ferramentas (b), devendo ser possível a análise dos diferentes tipos de representação de tais componentes. Além de proporcionar a comparação das ferramentas em relação a dificuldades na modelagem e recursos disponíveis para alteração e inclusão de funcionalidades em código.

### 5.2 ELABORAÇÃO DE TÉCNICAS PARA MODELAGEM DE COMPONENTES NÃO TRIVIAIS

A elaboração de técnicas para modelagem de comportamentos não triviais em ambientes de terminais aeroportuário de passageiros é a parte central deste trabalho. A partir dos estudos realizados anteriormente, deverão ser traçados quais fatores são mais relevantes e para representação dos componentes não triviais em modelos de terminais de passageiros produzidos (c).

Será estudada a composição dos elementos presentes nas bibliotecas das ferramentas de simulação de propósito geral, observando sua utilização na adaptação de comportamentos não triviais, seja simplificando-os ou tornando-os complexos e custosos (d). As análises realizadas serão utilizadas para elaborar técnicas de modelagem que irão complementar os elementos disponibilizados de forma padrão pelas ferramentas (e).

Tais técnicas irão ajustar a representação dos comportamentos não triviais presentes em modelos de terminais aeroportuários de passageiros. O que proporcionará a simplificação do

processo de modelagem dos comportamentos, sem prejudicar sua composição, buscando reduzir custos computacionais e temporais.

### 5.3 EXPERIMENTAÇÃO

Com as técnicas de modelagem definidas, um experimento para apurar sua eficiência deverá ser realizado: A implementação de complementos, adições e/ou criação de elementos nas bibliotecas de ferramentas de simulação de propósito geral. O primeiro passo é, através dos estudos realizados sobre as ferramentas, definir em qual delas a experimentação deve ocorrer (f).

Será realizada a implementação das técnicas, e realizando sua adequação para a estrutura da ferramenta de simulação (g). Será compreendido todos os estudos realizados, tanto de análise quanto de elaboração das técnicas, com o objetivo de reduzir a complexidade e garantir a modelagem completa de comportamentos não triviais presentes em terminais de passageiros em aeroportos.

Após a implementação das técnicas, dois modelos do mesmo terminal de passageiros serão produzidos. O primeiro será sem as técnicas implementadas e o segundo com as técnicas implementadas, possibilitando a comparação e a comprovação ou não da eficácia das técnicas produzidas (h).



## 6 CRONOGRAMA

| <b>Atividades</b>  | <b>Set</b> | <b>Out</b> | <b>Nov</b> | <b>Dez</b> | <b>Jan</b> | <b>Fev</b> | <b>Mar</b> | <b>Abr</b> | <b>Mai</b> |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| a) Identificação de comportamentos não triviais            | X          |            |            |            |            |            |            |            |            |
| b) Análise em ferramentas de propósito geral               |            | X          |            |            |            |            |            |            |            |
| c) Apuração de fatores relevantes e sua representação      |            |            | X          |            |            |            |            |            |            |
| d) Estudo da estruturação de elementos em bibliotecas      |            |            |            | X          |            |            |            |            |            |
| e) Definição de técnicas para modificar ou criar elementos |            |            |            |            | X          |            |            |            |            |
| f) Definição de ferramenta para experimento                |            |            |            |            |            | X          |            |            |            |
| g) Implementação do experimento                            |            |            |            |            |            | X          | X          |            |            |
| h) Comparação entre modelos                                |            |            |            |            |            |            |            | X          |            |
| Escrita da monografia                                      |            |            |            |            |            |            |            | X          | X          |

Tabela 1 – Cronograma previsto para as atividades propostas.



## REFERÊNCIAS

- 1 3D Simulation Modeling and Analysis Software | FlexSim. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.flexsim.com/>>.
- 2 ABOUT: What is ns-3? [S.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.nsnam.org/about/what-is-ns-3/>>.
- 3 BAHR, Lígia da Luz Fontes et al. Elaboração de modelo de simulação de um terminal aeroportuário de passageiros com base em dados do Aeroporto Internacional Hercílio Luz. Florianópolis, SC, 2018.
- 4 BASTOS, Alexandre Luiz Dutra; BAUM, Derick Moreira; CORREIA, Anderson Ribeiro. Análise da capacidade de operação de aeronaves nos boxes do aeroporto de São Paulo-Congonhas, por meio de ferramenta de simulação computacional. **Sitraer**, v. 7, p. 193–208, 2008.
- 5 CARSON, John S. Introduction to modeling and simulation. In: IEEE. PROCEEDINGS of the Winter Simulation Conference, 2005. [S.l.: s.n.], 2005. 8–pp.
- 6 DOBRUSZKES, Frédéric. An analysis of European low-cost airlines and their networks. **Journal of Transport Geography**, Elsevier, v. 14, n. 4, p. 249–264, 2006.
- 7 ENDRERUD, Ole-Erik V; LIYANAGE, Jayantha P; KESERIC, Nenad. Marine logistics decision support for operation and maintenance of offshore wind parks with a multi method simulation model. In: IEEE. PROCEEDINGS of the Winter Simulation Conference 2014. [S.l.: s.n.], 2014. p. 1712–1722.
- 8 FERSCHA, Alois; TRIPATHI, Satish K. **Parallel and distributed simulation of discrete event systems**. [S.l.], 1998.
- 9 FILHO, Paulo J de F. Introdução a modelagem e Simulação de Sistemas. **Florianópolis, SC, Brasil: Visual Books**, p. 2–14, 2001.
- 10 FUJIMOTO, Richard. Parallel and distributed simulation. In: IEEE. 2015 Winter Simulation Conference (WSC). [S.l.: s.n.], 2015. p. 45–59.
- 11 MARTINEZ, Julio C; IOANNOU, Photios G. General-purpose systems for effective construction simulation. **Journal of construction engineering and management**, American Society of Civil Engineers, v. 125, n. 4, p. 265–276, 1999.
- 12 PIDD, Michael. An introduction to computer simulation. In: IEEE. PROCEEDINGS of Winter Simulation Conference. [S.l.: s.n.], 1994. p. 7–14.
- 13 PREISS, Bruno R; MACINTYRE, Ian D; LOUCKS, Wayne M. On the trade-off between time and space in optimistic parallel discrete-event simulation. In: CITESEER. PROCEEDINGS of. 1992 Workshop on Parallel and Distributed Simulation. [S.l.: s.n.], 1992. p. 33–42.

- 14 SCHRIBER, Thomas J. **Simulation using GPSS**. [S.l.], 1974.
- 15 SHANNON, Robert E. Simulation modeling and methodology. **ACM SIGSIM Simulation Digest**, ACM New York, NY, USA, v. 8, n. 3, p. 33–38, 1977.
- 16 SIMULATION Modeling Tools Solutions | AnyLogic. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.anylogic.com/>>.
- 17 SIRAJ, Saba; GUPTA, A; BADGUJAR, Rinku. Network simulation tools survey. **International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering**, Department of Computer Science e Engineering, PGMCOE, v. 1, n. 4, p. 199–206, 2012.
- 18 SURYANI, Erma; CHOU, Shuo-Yan; CHEN, Chih-Hsien. Dynamic simulation model of air cargo demand forecast and terminal capacity planning. **Simulation Modelling Practice and Theory**, Elsevier, v. 28, p. 27–41, 2012.
- 19 YANG, Yedi; LI, Jin; ZHAO, Qunxin. Study on passenger flow simulation in urban subway station based on anylogic. **Journal of Software**, Academy Publisher, v. 9, n. 1, p. 140–146, 2014.