



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE ESTATÍSTICA E INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA APLICADA

JOSÉ DIOGO ANDRÉ DE SOUSA

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DA PROGRESSÃO
ESTUDANTIL NO ENSINO SUPERIOR
UTILIZANDO SISTEMAS DE EVENTO DISCRETO
PARA O PLANEJAMENTO DE CAPACIDADE

RECIFE – PE

2023

JOSÉ DIOGO ANDRÉ DE SOUSA

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO DA PROGRESSÃO
ESTUDANTIL NO ENSINO SUPERIOR
UTILIZANDO SISTEMAS DE EVENTO DISCRETO
PARA O PLANEJAMENTO DE CAPACIDADE**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Informática Aplicada da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Informática Aplicada.

ORIENTADOR: Gabriel Alves de Albuquerque Júnior

RECIFE – PE

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S725m Sousa, José Diogo Andre de
MODELAGEM E SIMULAÇÃO DA PROGRESSÃO ESTUDANTIL NO ENSINO SUPERIOR UTILIZANDO SISTEMAS DE EVENTO DISCRETO PARA O PLANEJAMENTO DE CAPACIDADE / José Diogo Andre de Sousa. - 2023.
73 f.
- Orientador: Gabriel Alves de Albuquerque Junior.
Inclui referências.
- Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Informática Aplicada, Recife, 2023.
1. Planejamento de Capacidade. 2. Evasão. 3. Ensino Superior. 4. Modelagem e Simulação. 5. Modelos de Redes de Filas. I. Junior, Gabriel Alves de Albuquerque, orient. II. Título

JOSÉ DIOGO ANDRÉ DE SOUSA

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DA PROGRESSÃO
ESTUDANTIL NO ENSINO SUPERIOR
UTILIZANDO SISTEMAS DE EVENTO DISCRETO
PARA O PLANEJAMENTO DE CAPACIDADE

Dissertação submetida ao Programa de
Pós-Graduação em Informática Aplicada da
Universidade Federal Rural de Pernambuco,
como parte dos requisitos para obtenção do
grau de Mestre em Informática Aplicada.

Aprovada em: 30 de 08 de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Gabriel Alves de Albuquerque Júnior (Orientador)
Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE
Departamento de Estatística e Informática - DEINFO

Erica Teixeira Gomes De Sousa
Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE
Departamento de Computação - DC

Roberta Macedo Marques Gouveia
Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE
Departamento de Estatística e Informática - DEINFO

Dedico este trabalho aos meus pais e esposa,
que sempre estiveram comigo em todos os
momentos.

Agradecimentos

À minha família, que sempre esteve ao meu lado, apoiando-me incondicionalmente em todas as fases desta jornada acadêmica. Seu amor, encorajamento e compreensão foram a base que me permitiu alcançar este objetivo.

Aos meus amigos mais próximos, que estiveram ao meu lado, oferecendo apoio moral, ânimo e momentos de descontração ao longo desses anos. Suas palavras de incentivo e alegria fizeram toda a diferença.

Ao meu orientador, Gabriel Alves, pela sua orientação sábia, expertise, e dedicação incansável. Suas valiosas orientações, feedback construtivo e apoio constante foram fundamentais para o desenvolvimento desta dissertação. Agradeço por compartilhar seu conhecimento e experiência comigo.

A todos os professores, colegas e colaboradores que contribuíram de diversas formas para o enriquecimento do meu trabalho, meu sincero agradecimento.

Por fim, agradeço a todos que, de uma maneira ou outra, fizeram parte desta jornada. Esta conquista é de todos nós.

Resumo

No ensino superior, diversos fatores podem impactar a progressão acadêmica do estudante. A evasão e a retenção são um dos principais desafios persistentes que afetam negativamente o sistema educacional. A evasão no ensino superior pode ser entendida como a saída prematura do curso ou instituição na qual o estudante se encontra vinculado, sem a sua conclusão. A retenção indica a dificuldade dos estudantes em acompanhar o ritmo do curso e alcançar os objetivos acadêmicos estabelecidos, podendo ocasionar gargalos pela alta demanda em determinadas disciplinas. Nesse sentido, surge uma crescente demanda por turmas extras para lidar com os desafios da evasão e retenção no sistema educacional. O custo e a limitação de recursos necessários para o aumento de vagas nas turmas ou mesmo para a criação de turmas extras impõem restrições que os gestores precisam levar em consideração. Fatores como infraestrutura, corpo docente e o nível socioeconômico dos estudantes tornam a complexidade de tal gestão ainda mais elevada. Tendo em vista as questões mencionadas acima, este trabalho tem o objetivo de implementar um modelo de simulação da progressão estudantil para analisar o impacto causado pela inclusão de vagas extras em disciplinas com índice de retenção elevado nos períodos iniciais de um curso de graduação, utilizando o simulador OMNeT++. Os experimentos realizados com base nos dados de um curso de tecnologia da informação mostraram que a inclusão de 30 vagas extras nos 3 períodos iniciais foi capaz de reduzir a fila de espera sem impactar nos índices de evasão do curso. Além disso, o modelo permitiu a identificação de gargalos na demanda por disciplinas do curso e a simulação de diversos cenários por meio da alteração no parâmetro de capacidade da turma, em períodos específicos do curso estudado.

Palavras-chave: Planejamento de Capacidade, Evasão, Ensino Superior, Modelagem e Simulação, Retenção, Modelos de Redes de Filas

Abstract

In higher education, several factors can impact the student's path during the course. Dropout and retention are one of the main persistent challenges that negatively affect the educational system. Dropping out of higher education can be defined as the students' premature leaving without completing the course or institution to which they are linked. Retention indicates the students' difficulties in catching up with the course's pace and achieving the established academic objectives. It may cause bottlenecks due to the high demand in particular disciplines. In this sense, there is a growing demand for extra classes to deal with the educational system's challenges of evasion and retention. The cost and limitation of resources necessary for increasing class size or even creating additional classes impose restrictions that managers must consider. Factors such as infrastructure, faculty, and the socioeconomic level of students make the complexity of such management even higher. Given the abovementioned issues, this work aims to implement a simulation model of student progression to analyze the impact caused by the inclusion of extra places in disciplines with a high retention rate in the initial periods of an undergraduate course, using the OMNeT++ simulator. The model uses the OMNeT++ simulator to simulate the students' progression on a higher education course. The experiments carried out based on data from an information technology course showed that the inclusion of 30 extra places in the initial 3 periods was able to reduce the waiting list without impacting the dropout rates of the course. In addition, the model allowed the identification of bottlenecks in the demand for course subjects and the simulation of various scenarios through changes in the class capacity parameter in specific periods of the course studied.

Keywords: Capacity Planning, Dropout, Higher Education, Modeling and Simulation, Retention, Queuing Networks Models

Lista de Figuras

Figura 1 – Fluxograma do Comportamento de um Sistema Baseado em Filas . . .	21
Figura 2 – Classificação de Módulos do OMNET++	22
Figura 3 – Etapas do Método Proposto	37
Figura 4 – Fluxograma do Modelo de Simulação Representando a Transição entre os Períodos do Curso	42
Figura 5 – Fluxograma do Modelo de Simulação para o Comportamento em um Período do Curso	42
Figura 6 – Diagrama do Modelo Gerado pelo Simulador OMNeT++	43
Figura 7 – Processo de Exportação de Métricas do Modelo	53
Figura 8 – Estrutura de Métricas Extraídas do Modelo para o Evento da Evasão .	54
Figura 9 – Mapa de Calor da Matriz de Probabilidades de Eventos	55
Figura 10 – Análise de Sobrevivência para a Evasão - Comparativo entre Dados Reais e Saídas do Modelo	56
Figura 11 – Análise de Sobrevivência para a Conclusão - Comparativo entre Dados Reais e Saídas do Modelo	57
Figura 12 – Análise de Sobrevivência para a Desvinculação - Comparativo entre Dados Reais e Saídas do Modelo	58
Figura 13 – Métricas da Turma para o Modelo sem Restrições de Capacidade . . .	58
Figura 14 – Análise de Sobrevivência da Evasão - Experimento para Inclusões de Tamanho Fixo de Vagas Extras	63
Figura 15 – Análise de Sobrevivência da Evasão - Experimento para Inclusões de Tamanho Variável de Vagas Extras	65

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Análise Comparativa	34
Tabela 2 – Média (μ), Desvio Padrão (σ) e Intervalo para (2σ) em cada Período do Curso, no Modelo sem Restrições de Capacidade	59
Tabela 3 – Experimento para Inclusões de Tamanho Fixo de Vagas Extras	60
Tabela 4 – Experimento para Inclusões de Tamanho Variável de Vagas Extras	61
Tabela 5 – Fila de Espera Média por Período - Experimento para Inclusões de Tamanho Fixo de Vagas Extras	62
Tabela 6 – Fila de Espera Média por Período - Experimento para Inclusões de Tamanho Variável de Vagas Extras	64

Lista de Quadros

Quadro 1 – Informações Coletadas da Base de Dados	38
Quadro 2 – Atributos de Entrada para o Modelo	41
Quadro 3 – Métricas Extraídas do Modelo	44

Lista de Siglas

CSV	<i>Comma Separated Values</i>
DES	<i>Discret Event Simulation</i>
FIES	<i>Fundo de Financiamento Estudantil</i>
IES	<i>Instituição de Ensino Superior</i>
INEP	<i>Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais</i>
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
KIT	<i>Karlsruhe Institute of Technology</i>
MEC	<i>Ministério da Educação</i>
NED	<i>Network Description</i>
OMNeT	<i>Objective Modular Network Testbed</i>
PROUNI	<i>Programa Universidade para Todos</i>
SISU	<i>Sistema de Seleção Unificada</i>
SQL	<i>Structured Query Language</i>
TAP	<i>Taxa de Permanência</i>
TCA	<i>Taxa de Conclusão Acumulada</i>
TDA	<i>Taxa de Desistência Acumulada</i>

Sumário

1	Introdução	13
1.1	Motivação e Justificativa	15
1.2	Objetivos	16
1.3	Organização do Trabalho	17
2	Referencial Teórico	18
2.1	Modelagem e Simulação	18
2.2	Análise Acadêmica	26
2.3	Considerações Finais	30
3	Trabalhos Relacionados	31
3.1	Modelagem e Simulação	31
3.2	Aprendizado de Máquina	32
3.3	Análise Comparativa	34
3.4	Considerações Finais	36
4	Metodologia	37
4.1	Pré-processamento de Dados	37
4.2	Modelagem	40
4.3	Análise dos Resultados	44
4.4	Considerações Finais	45
5	Modelo Proposto	46
5.1	Inicialização	46
5.2	Fluxo de Execução	48
5.3	Obtenção de Métricas	52
5.4	Considerações Finais	54
6	Resultados	55
6.1	Avaliação Atual do Curso	55
6.2	Experimento para Inclusões de Tamanho Fixo de Vagas Extras	61
6.3	Experimento para Inclusões de Tamanho Variável de Vagas Extras	63
6.4	Considerações Finais	66
7	Conclusão	67
	Referências	69

1 Introdução

O acesso ao ensino superior e sua democratização é um tema constantemente estudado e abordado por pesquisadores, instituições e governos. No Brasil, programas como Sistema de Seleção Unificada (SISU), Programa Universidade para Todos (PROUNI) e Fundo de Financiamento Estudantil (FIES) têm trazido grandes avanços em termos de acessibilidade para determinados grupos sociais (VARGAS, 2021; GONÇALVES, 2020). Entretanto, facilitar o ingresso à universidade por meio de políticas de inclusão ou de diferentes processos seletivos não garante a permanência do estudante na universidade (DAVOK; BERNARD, 2016).

Estudos encontrados na literatura (MOURA; PASSOS, 2019; LIMA et al., 2019) apontam que a porcentagem de concluintes nos cursos de ensino superior ainda é muito baixa. Vários fatores podem influenciar a parcela de graduados em universidades públicas e privadas. A evasão, por exemplo, é um evento de grande influência na taxa de conclusão das universidades públicas e privadas.

São inúmeras as causas que podem levar um aluno a se desligar do curso (BRASIL, 2014), que vão desde o nível do ensino médio cursado (LOBO, 2012), conciliação com o trabalho (LAMERS et al., 2017), dificuldade financeira (BERNARDO et al., 2017), falta de identificação com o curso (SILVA et al., 2022) e até problemas pessoais (RODRIGUES et al., 2018).

De acordo com o Censo da Educação Superior (INEP/MEC, 2019), em média, 59% dos estudantes do ensino superior abandonaram os seus cursos de graduação entre 2017 e 2019, um percentual bastante elevado e que vem aumentando ao longo dos anos.

Segundo Souza et al. (2019), as causas econômicas e sociais refletem a existência de problemas fora do alcance das instituições e independem das decisões dos gestores educacionais, porém as causas consideradas internas podem e devem ser geridas. Estudos nesse campo são essenciais para uma melhor percepção acerca do problema (CASTRO et al., 2018).

Para Silva et al. (2019), um ponto que merece destaque é o gerenciamento de recursos pelas universidades, enfatizando a importância devido ao orçamento limitado que elas possuem, sendo boa parte dessa verba constituída pelo orçamento disponibilizado pelo Tesouro Nacional, além de uma parte obtida de arrecadações internas. Ainda segundo o

autor, esse gerenciamento propicia aos gestores informações que serão transformadas em conhecimento para, ao fim, ser utilizado para tomada de decisões destas instituições.

Nesse contexto, Martins et al. (2019) enfatizam o planejamento para demanda por turmas extras, que geralmente ocorrem para as disciplinas que possuem um alto índice de reprovação e não existem vagas o suficiente, impossibilitando que os alunos nessa situação consigam cursá-la. Essa demanda gera custos para as universidades, podendo também elevar a carga horária do corpo docente por falta de profissionais para suprir essa necessidade (BROGNOLI et al., 2020).

A maior parte da evasão ocorre nos primeiros períodos do curso (OPAZO et al., 2021), nesta etapa é também onde normalmente se encontram os índices mais elevados de reprovações, o que leva à ocorrência de turmas maiores ou até à indisponibilidade de vagas para os estudantes. Por vezes, dado o tamanho da turma, há a necessidade de abertura de turmas extras (ASKARI, 2017), o que consome mais recursos como salas e professores. Dessa forma, a abertura destas turmas, quando feita de forma otimizada, pode proporcionar cenários que beneficiem tanto o aluno como a gestão acadêmica.

Levando em consideração as questões acima mencionadas, este trabalho apresenta um modelo de simulação de progresso do aluno no decorrer de um curso de graduação, abordando o impacto causado pela inclusão de vagas extras em disciplinas de maior índice de retenção nos períodos iniciais e propondo alternativas para a redução da fila de espera nestas disciplinas de forma otimizada, analisando também os efeitos desses cenários na evasão do estudante no curso. A partir disso, buscou-se encontrar fatores que possam contribuir para uma melhor visão acerca do gerenciamento de capacidade de turmas e propor alternativas capazes de impactar positivamente na gestão de recursos em universidades.

A avaliação do modelo ocorreu por meio de dois experimentos, utilizando dados reais de um curso da área de tecnologia da informação, considerando 5 anos e 327 alunos. A partir destes dados utilizados no modelo, foram realizadas simulações com inclusões de vagas extras nas disciplinas com maior índice de retenção dos períodos iniciais do curso. Os resultados parciais deste trabalho foram publicados nos anais do XXI Workshop em Desempenho de Sistemas Computacionais e de Comunicação (SOUSA et al., 2022).

1.1 Motivação e Justificativa

Para Silva et al. (2022), o primeiro ano de curso é o período no qual o evento da evasão apresenta maior incidência. Assim, promover estudos que proporcionem maior conhecimento e percepção desse fenômeno, especificamente onde há a maior incidência, é essencial para que medidas sejam tomadas em função de amenizar os índices de abandono existentes atualmente.

No âmbito educacional, também existe a necessidade de avaliar o comportamento de sistemas dinâmicos. Segundo Brigas (2019), representar e explicar processos por meio de modelos educacionais ou simulações permite que atividades sejam realizadas em pontos onde é mais fácil entender esses processos e descobrir as propriedades essenciais de um sistema. Os modelos de fluxo estudantil ao longo do sistema educacional podem ser muito importantes para planejar recursos de infraestrutura, proporcionar a distribuição de recursos humanos no mercado de trabalho e identificar problemas em todo o sistema educacional, bem como propor ações específicas para superá-los (CAVIQUE et al., 2020).

Contudo, ainda existe uma grande escassez de estudos nessa área, Brigas (2019) ressalta que, apesar de as atividades de simulação potencializarem o desenvolvimento de habilidades como reflexão, tomada de decisão, criatividade e generalização, o uso dessas atividades em contextos educacionais é muito esporádico. Estudos nesse campo são essenciais para promover uma visão mais clara acerca do problema abordado.

No cenário de gerenciamento de turmas e estudantes no ensino superior, Nora et al. (2005) salientam que experiências específicas de cada instituição desempenham um papel importante na permanência do estudante, à medida que o tempo passa. Fazer uso de tais informações pode permitir uma melhor visão dessa alçada e promover melhorias no planejamento e gerenciamento de recursos da instituição.

Dessa forma, Nora et al. (2005) destacam que uma melhor compreensão da natureza destas experiências e de como a instituição pode influenciá-las deve ser construída por meio de estudos específicos e individuais desta determinada instituição, ou similar, voltados a capturar o processo de permanência ao longo do tempo, dentro do contexto único daquela instituição.

O uso da simulação pode proporcionar vários benefícios no entendimento de um processo ou evento. Realizar atividades de modelagem ou simulação que promovam a interpretação e compreensão de sistemas, são atividades de aprendizagem nas quais

possibilita-se a capacidade de criar e testar suas próprias percepções de um determinado fenômeno (BRIGAS, 2019).

Além disso, o planejamento de capacidade de turmas extras requer a maior quantidade de informações possíveis, tanto em dados históricos como dados preditivos. Nesse sentido, Banks et al. (2005) frisam que a simulação também pode ser usada para estudar sistemas na fase de projeto, antes que tais sistemas sejam construídos. Assim, a modelagem de simulação pode ser usada tanto como uma ferramenta de análise para prever o efeito de mudanças em sistemas existentes quanto como uma ferramenta de projeto para prever o desempenho de novos sistemas sob vários conjuntos de circunstâncias.

Uma vez desenvolvido e validado, um modelo pode ser usado para investigar uma ampla variedade de perguntas sobre o sistema do mundo real, além de seu baixo custo devido ao contexto de sua execução. Dessa forma, as mudanças potenciais no sistema podem primeiro ser simuladas, a fim de prever seu impacto no desempenho do sistema e assim, seja feita a escolha da melhor alternativa.

A partir das motivações e justificativas apresentadas como embasamento para este trabalho, foram formuladas duas perguntas de pesquisa destinadas a responder se o propósito do estudo foi alcançado.

1. Pensando no estudo como uma estratégia para reduzir a fila de espera em turmas com alto índice de retenção, como modelar um sistema que seja capaz de conseguir apresentar resultados relevantes ao problema, considerando as particularidades de cada curso?

2. Quais os atributos precisam ser considerados na saída do modelo, para avaliar os resultados apresentados pelos experimentos e obter indicadores que auxiliem no problema abordado?

1.2 Objetivos

Este trabalho tem por objetivo a avaliação de um modelo de simulação do progresso estudantil no ensino superior, investigando a viabilidade e os impactos da inclusão de vagas extras em turmas.

Dessa forma, para atingir o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Propor e implementar um modelo, utilizando o simulador OMNeT++, que seja capaz de representar o fluxo estudantil no decorrer de um curso de graduação e fornecer métricas relativas aos eventos de evasão e fila de espera;
- Definir métricas a serem avaliadas e fornecidas pelo modelo;
- Realizar o pré-processamento da base de dados relativa a situação atual do curso a fim de obter os parâmetros de entrada para o modelo proposto;
- Validar o modelo e realizar experimentos para analisar os impactos causados pela inclusão de vagas extras em turmas que apresentam alta demanda por vagas, com o intuito de encontrar alternativas para a otimização da fila de espera.

1.3 Organização do Trabalho

O presente trabalho está organizado na seguinte ordem: o Capítulo 2 apresenta o Referencial Teórico, com uma abordagem sobre os fundamentos utilizados durante esta pesquisa. O Capítulo 3 explana os trabalhos relacionados com este estudo. O Capítulo 4 aborda a metodologia utilizada para implementação do modelo e a forma como os resultados são analisados no trabalho. No Capítulo 5, é explanado o modelo proposto em um contexto mais técnico, com a apresentação de blocos de código descrevendo a regra de negócio implementada. No Capítulo 6, são apresentados os resultados obtidos por meio dos experimentos do estudo de caso definido para esta pesquisa. Por último, o Capítulo 7, apresentando a conclusão com as considerações finais, contribuições e trabalhos futuros.

2 Referencial Teórico

Este capítulo apresenta os principais temas os quais foram necessários buscar um estudo aprofundado para elaboração desta pesquisa. Na Seção 2.1, são dispostos os conceitos de modelagem e simulação, assim como alguns dos contextos nos quais são possíveis a sua utilização e as principais ferramentas disponíveis para aplicação. Também, é explanado o uso da simulação no cenário de planejamento de capacidade, trazendo os principais benefícios de sua utilização nesse âmbito. Por último, na Seção 2.2, é apresentada uma abordagem sobre análise acadêmica, o crescimento e os benefícios de sua utilização na esfera administrativa do ensino superior, dispondo informações de extrema importância em áreas como evasão e retenção.

2.1 Modelagem e Simulação

A modelagem e a simulação são técnicas utilizadas para representar sistemas complexos, permitindo a análise e compreensão do seu comportamento. Segundo Wainer (2017), a primeira técnica que os humanos usam para aprender, e talvez mudar seu ambiente é a experimentação, sendo essa a única maneira que os humanos tiveram de aprender sobre seu ambiente por milhares de anos, e ainda é um dos principais métodos empregados na resolução de problemas, também considerada uma parte crucial do desenvolvimento infantil.

Para Miyagi (2006), uma simulação, feita a mão ou em um computador, envolve a geração de uma história artificial do sistema, e a partir desta história artificial a inferência de como o sistema real funcionaria. Bossel (2018) ressalta que modelos mentais sempre foram usados por seres humanos para melhor compreender o mundo ao seu redor: fazer planos, considerar diferentes possibilidades, compartilhar ideias com outras pessoas, testar mudanças e determinar se o desenvolvimento de uma ideia é viável ou não.

Em uma abordagem geral, pode-se entender o processo de modelagem e simulação como o planejamento e a reprodução, por um período de tempo específico, do fluxo de um sistema ou processo que ocorre no mundo real. Por meio do uso dessa técnica, sistemas reais podem ser estudados de forma dinâmica e flexível, permitindo que mudanças em diversos aspectos possam ser facilmente avaliadas sem uma configuração física experimental,

de forma que, tal flexibilidade pode proporcionar a visualização de inúmeras possibilidades e trazer ganhos de acordo com a natureza do problema estudado, tais como: melhorias de desempenho, minimização de custos e redução no tempo em um determinado processo (PADILHA et al., 2016).

A estrutura de projeto de modelagem e simulação abrange duas noções principais; primeiro, existe a noção de um contexto do sistema, onde há um sistema que foi identificado para investigação e, segundo, há um problema relacionado ao sistema identificado que precisa ser resolvido e, obter uma solução aceitável para este problema é o objetivo do projeto de modelagem e simulação (BIRTA; ARBEZ, 2013). Existe uma ampla gama de razões possíveis onde pode-se utilizar os conceitos de modelagem e simulação, dentre os principais, estão: avaliação de alternativas de decisão ou ação; previsão; avaliação de desempenho; prototipagem e redução da incerteza na tomada de decisão.

Contudo, o termo sistema é utilizado em seu sentido mais amplo; poderia, por exemplo, incluir as noções de um processo ou fenômeno. Além disso, a existência física do sistema não é um pré-requisito; o sistema em questão pode ser simplesmente um conceito, ideia ou proposta. O essencial é a existência de um comportamento baseado em eventos temporais, em outras palavras, que seja um sistema dinâmico.

Tais sistemas, ou mais especificamente sistemas dinâmicos, são uma das noções mais difundidas de nosso mundo contemporâneo. Para Birta e Arbez (2013), em termos gerais, um sistema dinâmico é uma coleção de entidades interativas que produzem alguma forma de comportamento que pode ser observado durante um intervalo de tempo.

Os sistemas dinâmicos se iniciaram com a implementação de aproximações numéricas das equações diferenciais em estudo, com o intuito de solucionar problemas em modelos mais complexos de forma rápida e precisa. No entanto, esses métodos não puderam ser adaptados à maioria das aplicações artificiais desenvolvidas durante o século XX (WAINER, 2017).

A Revolução Industrial trouxe a necessidade de modelar o comportamento de aparelhos complexos construídos por humanos (linhas telefônicas, controladores de aviões, elevadores automatizados etc.), que não podem ser adequadamente descritos por equações diferenciais ou suas aproximações numéricas. Dessa forma, novas teorias matemáticas foram aplicadas na análise desses dispositivos automatizados, com o intuito de aproximar a equação, discretizando seu comportamento, passando de contínuo para ser computado

em determinados intervalos de tempo predefinidos, processo esse conhecido como sistemas de eventos discretos.

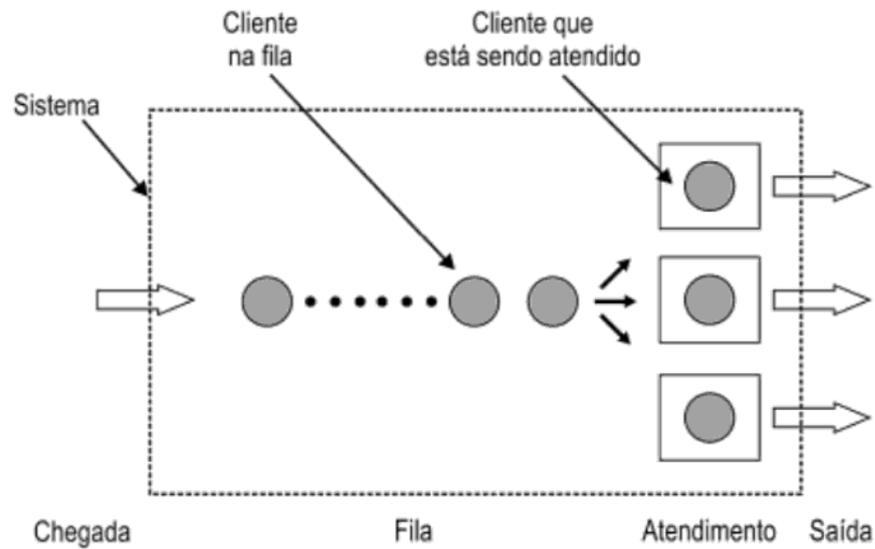
Sistemas de eventos discretos (DES, Discrete Event System) são sistemas dinâmicos que evoluem de acordo com a ocorrência abrupta, em intervalos irregulares possivelmente desconhecidos, de eventos físicos (RAMADGE; WONHAM, 1989), onde sua alteração de estado depende inteiramente da ocorrência de eventos discretos assíncronos ao longo do tempo (CASSANDRAS; LAFORTUNE, 2008). O resultado não é analítico, mas numérico, e terá menos precisão do que o modelo formal. No entanto, tais métodos fornecem valores aproximados que são satisfatórios para o problema em estudo (WAINER, 2017).

A metodologia para sistemas de eventos discretos modela um sistema à medida que evolui ao longo do tempo, representando mudanças instantâneas de suas variáveis de estado em pontos separados no tempo correspondentes à visão de fluxo das entidades (PADILHA et al., 2016). A modelagem de sistemas de eventos discretos consiste em redes de filas e entidades, atividades e recursos por meio dos quais as entidades são atualizadas com mudanças de estado que ocorrem em pontos discretos do tempo, por meio de eventos (HELAL, 2008).

Ao integrar a teoria das filas com a modelagem e simulação, pode-se criar ferramentas poderosas para analisar e otimizar sistemas de filas em diversas áreas, como centros de atendimento, hospitais, aeroportos e supermercados, entre outros. Sistemas geradores de filas constituem parte da ampla classe de sistemas dinâmicos denominados sistemas de fluxos, uma vez que a chegada de usuários, seu processamento e suas respectivas partidas provocam uma movimentação dentro do sistema, dando origem, assim, aos chamados fluxos de entrada e de saída do sistema, os quais podem ser discretos ou contínuos (ALGISI, 2018).

A teoria das filas aborda problemas por meio de fórmulas matemáticas (PRADO, 2017), permitindo analisar o comportamento de um sistema em relação a demandas crescentes e proporcionando o dimensionamento de serviços, evitando gargalos e desperdícios. Na Figura 1, é apresentado o comportamento de um sistema baseado em filas, com a entrada do cliente, a espera na fila, o mecanismo de distribuição para o atendimento até a sua saída.

Figura 1 – Fluxograma do Comportamento de um Sistema Baseado em Filas



Fonte: Prado (2017)

Os modelos de teoria das filas são utilizados para prever e entender a dinâmica das filas, permitindo a análise de filas em diversos contextos e trazendo informações como:

- O tempo médio gasto por atendimento no sistema;
- O tempo médio de espera na fila;
- O número médio de clientes no sistema;
- O número médio de clientes na fila;
- O número de recursos necessários para atender a demanda;
- O impacto de políticas de gerenciamento de filas, como prioridade para clientes com necessidades especiais ou oferta de serviços adicionais.

Tomando como base a hora como unidade de medida de tempo, λ como a taxa média de chegada do cliente por hora e μ indicando a taxa média de atendimento, isto é, a quantidade média de atendimentos realizados por hora. Pode-se calcular o tempo médio gasto por atendimento no sistema por meio da equação: $W = 1/(\mu - \lambda)$; o tempo médio gasto na fila de espera pela equação: $W_q = \lambda / \mu(\mu - \lambda)$; o número médio de clientes no sistema, com a equação $L = \lambda / (\mu - \lambda)$; e o número médio de clientes na fila de espera por meio da equação: $L_q = \lambda^2 / \mu(\mu - \lambda)$ (PINTO, 2011).

Nesse processo de modelagem e simulação de sistemas, existem diversas ferramentas que podem ser utilizadas. Nos trabalhos analisados durante esta pesquisa, foram

encontradas ferramentas, em sua grande maioria, voltadas para abordagens de simulações de redes. Dentre as mais comuns estão: OPNET, NS2, NS3, NetSim, OMNeT++, Arena, REAL, J-Sim e QualNet (SIRAJ et al., 2012; WEHRLE et al., 2010).

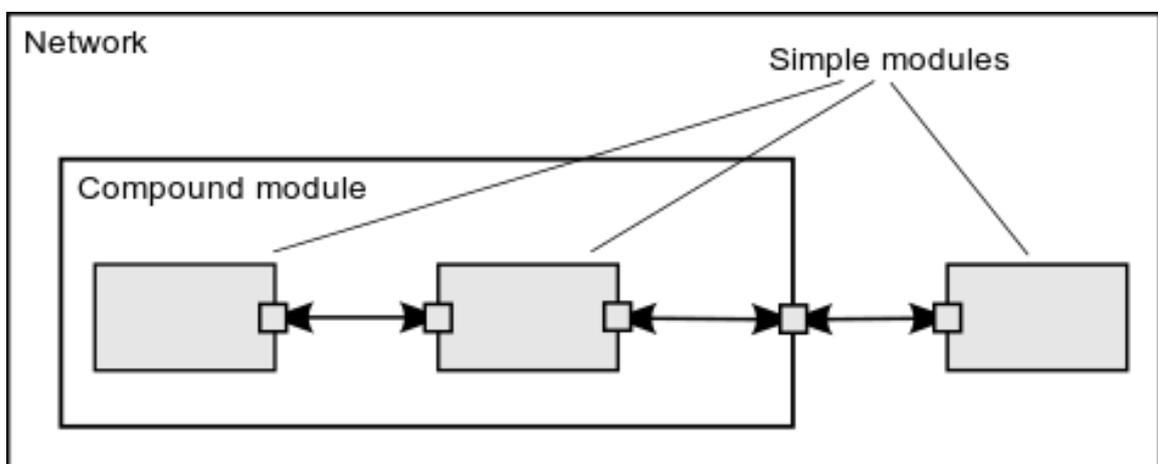
Para este trabalho, especificamente, foi utilizado o simulador OMNeT++. A escolha se deu devido a sua flexibilidade para lidar com modelos que envolvam áreas diferentes de simulações de redes, em outras palavras, ele permite a implementação de modelos em abordagens distintas.

O OMNeT++ é um simulador com estrutura em C++ extensível, modular e baseada em componentes. Ele é fortemente utilizado em simulações de redes de comunicação, mas também tem tido êxito em outras áreas, como simulação de sistemas de TI, redes de filas, arquiteturas de hardware e processos de negócios.

O seu desenvolvimento surgiu na necessidade de proporcionar um simulador de eventos para a comunidade acadêmica e até mesmo para instituições comerciais, em busca de ocupar um espaço existente entre simuladores de código aberto para a área acadêmica (TESSINARI, 2009). Dentre as suas vantagens, estão o seu código *open source*, facilidade de operação e extensibilidade, pois também oferece compatibilidade com diversas bibliotecas (JIANG et al., 2018).

A estrutura do OMNeT++ é formada por módulos que se comunicam por meio da passagem de mensagens. Estes, podem ser classificados como simples ou compostos, os módulos compostos, conforme apresentado na Figura 2, geralmente são formados por um grupo de módulos simples, mas também podem ser agrupados em módulos compostos e assim por diante; o número de níveis de hierarquia é ilimitado.

Figura 2 – Classificação de Módulos do OMNET++



Fonte: OMNeT++ (2020)

A troca de mensagens realizada na comunicação entre os módulos é feita por meio de caminhos pré-definidos, nos quais são utilizadas portas e conexões para fazer a ligação entre os componentes. As portas são interfaces de entrada e saída dos módulos, o envio das mensagens é realizado pelas portas de saída e o recebimento de mensagens é feito pelas portas de entrada de cada módulo.

Cada conexão é criada dentro de um único nível da hierarquia do módulo, dentro de um módulo composto, pode-se conectar as portas correspondentes de dois submódulos, ou uma porta de um submódulo e uma porta do módulo composto, na Figura 2 pode-se observar esse comportamento, no qual um módulo simples é interligado a porta de um módulo composto e o módulo composto fica responsável pela conexão e transmissão de mensagens com os submódulos que fazem parte da sua área de responsabilidade.

Os módulos são programados em C++ e depois montados em componentes e modelos maiores usando uma linguagem de alto nível Network Description (NED), eles também possuem amplo suporte a Interface Gráfica do Utilizador (GUI) e, devido à sua arquitetura modular, o kernel de simulação pode ser incorporado facilmente em seus aplicativos (BACH et al., 2018). A linguagem NED (Network Description) é usada para a criação e conexão entre os módulos. Além da criação, por meio dela também é possível definir como os módulos se comunicarão e quais informações serão armazenadas no decorrer da simulação.

Dentre os principais recursos que a linguagem NED possui e que permitem dimensionar grandes projetos, a documentação do OMNeT++ (2020) destaca:

- Hierarquia: a maneira tradicional de lidar com a complexidade é introduzindo hierarquias. No OMNeT++, qualquer módulo que seja muito complexo como uma única entidade pode ser dividido em módulos menores e usado como um módulo composto.
- Baseada em componentes: módulos simples e módulos compostos são inerentemente reutilizáveis, o que não apenas reduz a cópia de código, como também permite a existência de bibliotecas de componentes.
- Interfaces: as interfaces podem ser utilizadas como um espaço reservado para definir características, que podem ser implementadas tanto por módulos como por canais concretos.
- Herança: módulos e canais podem ser subclassificados, ou seja, módulos e canais

derivados podem adicionar novos parâmetros, portas e (no caso de módulos compostos) novos submódulos e conexões. Eles podem definir os parâmetros existentes para um valor específico e também definir o tamanho da porta de um vetor de porta.

- Pacotes: a linguagem NED apresenta uma estrutura de pacotes semelhante a Java, para reduzir o risco de conflitos de nomes entre diferentes modelos. O *NEDPATH* (semelhante ao *CLASSPATH* do Java) também foi introduzido para facilitar a especificação de dependências entre os modelos de simulação.
- Tipos internos: tipos de canal e tipos de módulo usados localmente por um módulo composto podem ser definidos dentro do módulo composto, a fim de reduzir a poluição do *namespace*.
- Anotações de metadados: é possível anotar tipos de módulos ou canais, parâmetros, portas e submódulos adicionando propriedades. Os metadados não são usados diretamente pelo *kernel* de simulação, mas podem carregar informações extras para várias ferramentas, o ambiente de execução ou até mesmo para outros módulos do modelo.

Devido à flexibilidade e extensibilidade do simulador OMNeT++, inúmeros problemas podem ser modelados, independentemente da área de pesquisa. Na gestão acadêmica, por exemplo, as técnicas de modelagem e simulação podem ser aplicadas em diversos contextos, como no planejamento estratégico, na otimização de processos, na previsão de demanda e na avaliação de políticas públicas. Alguns dos modelos mais utilizados são:

- Modelos de filas: utilizados para analisar o fluxo de pessoas ou de objetos em um sistema, como, por exemplo, a demanda por vagas em uma disciplina.
- Modelos de redes: utilizados para representar a interação entre agentes ou entidades em um sistema, como a comunicação entre pesquisadores de uma universidade.
- Modelos de simulação: utilizados para reproduzir o comportamento de um sistema, a partir de um conjunto de regras e parâmetros pré-definidos, permitindo a realização de experimentos virtuais e a análise de resultados.

De acordo com Souza (2018), o planejamento de capacidade consiste em delimitar a quantidade de recursos que devem ser alocadas de forma a atender a carga de trabalho, com nível de serviço adequado. Essa técnica pode trazer vários benefícios, tais como a

redução de custos e melhor utilização de espaços, otimizando não só os recursos disponíveis como também as pessoas e processos envolvidos.

Em cursos de ensino superior, são comumente encontradas disciplinas onde a taxa de retenção é bastante elevada. Geralmente nesses casos há a necessidade de incorporar turmas complementares para suprir a demanda por solicitações de matrículas, de forma que, tal demanda tende a gerar custos extras para as universidades, sendo que estas já possuem seu orçamento limitado, trazendo a necessidade de aprimorar o gerenciamento de seus recursos.

Segundo Makki et al. (2022), um dos processos mais vitais nas instituições de ensino é o planejamento da capacidade de matrícula de alunos. Por meio da gestão de capacidade é possível planejar uma série de fatores, tais como infraestrutura de salas de aula e laboratórios e distribuição de demandas para o corpo docente.

Contudo, esse é um processo complexo que envolve o equilíbrio entre a oferta e a demanda de cursos. A capacidade de uma turma é determinada pelo número de vagas disponíveis e pela capacidade de instalações e recursos, como salas de aula e professores. Para realizar um planejamento, é necessário considerar vários fatores, incluindo:

- Demanda: entender a demanda dos estudantes por cursos e turmas extras, isso pode ser feito por meio de pesquisas de opinião ou análises de dados históricos.
- Oferta: é necessário avaliar a oferta de cursos e turmas extras, levando em conta as necessidades acadêmicas e os recursos disponíveis.
- Recursos: planejar a alocação de salas de aula, corpo docente e outros recursos disponíveis para atender à demanda.
- Orçamento: avaliar se há recursos financeiros suficientes para cobrir os custos de oferecer turmas extras.
- Políticas: considerar as políticas da instituição e as regulamentações governamentais para garantir que as turmas extras estejam em conformidade com as normas.

Uma vez que esses fatores são levados em conta, pode-se estabelecer a capacidade das turmas extras e garantir que a oferta de cursos e turmas extras esteja alinhada à demanda. Além disso, é importante monitorar continuamente a demanda e os recursos para garantir que a capacidade das turmas extras atenda a necessidade requisitada.

Nesta pesquisa, o principal objetivo é auxiliar na tomada de decisão para gestão de turmas extras no ensino superior por meio da simulação utilizando sistemas de eventos

discretos em conjunto com os conceitos de teoria das filas. A partir dessas técnicas, modelar o fluxo de um curso de ensino superior e realizar simulações utilizando diferentes cenários, observando o comportamento de alunos com base na inclusão de turmas extras, com quantidades de vagas distintas, por meio de eventos discretos no decorrer da simulação.

Além disso, para possibilitar a simulação é necessário a utilização de técnicas capazes de definir uma amostragem aleatória para o comportamento que o aluno irá seguir no decorrer do curso. Nesse contexto, tem-se o Método de Monte Carlo (MMC), que segundo Paixão et al. (2021), é um método bastante utilizado em processos probabilísticos em diversas áreas de conhecimento, onde se tem a necessidade de simular o incerto, o inesperado, com muita aplicação em programas geradores de números aleatórios.

Segundo Ferreira (2020), este método possui uma natureza estocástica que utiliza algoritmos computacionais que dependem de repetidas amostragens aleatórias para aproximar-se de resultados numéricos. Ainda segundo o autor, esse método seria uma alternativa atrativa e eficiente para se obter soluções aproximadas de diversos tipos de problemas de natureza estocástica ou determinística, uma vez que, por meio dele é possível estimar o resultado do problema em questão utilizando técnicas de amostragem.

A essência principal do método de Monte Carlo reside na criação de números aleatórios, o que permite que o método consiga resultados próximos à realidade por meio da simulação. Pode-se classificar o método de Monte Carlo como uma abordagem estatística, pois isso ocorre devido à possibilidade de modelar o problema em questão em termos de funções de densidade de distribuição de probabilidade. Nesse sentido, Mónico (2019) ressalta a importância de que nessa etapa sejam definidas quais as variáveis devem ser incluídas no modelo, quais os tipos de distribuição de probabilidade melhor se adequam às variáveis selecionadas e quais os parâmetros devem ser usados em cada distribuição.

Assim, o MMC se apresenta como uma alternativa de grande eficácia para a geração de amostras aleatórias em cenários de simulação onde existem contextos de incerteza.

2.2 Análise Acadêmica

A análise acadêmica é uma área que se dedica ao uso de dados e análises para avaliar a efetividade das instituições de ensino superior, professores, pesquisadores e programas acadêmicos. O seu principal objetivo é fornecer informações úteis para os

gestores acadêmicos, professores e pesquisadores, para que estes possam melhorar o desempenho e a efetividade de suas instituições e programas.

Por muitos anos, as instituições de ensino superior têm se preocupado com a qualidade da educação e utilizam diferentes meios para analisar e melhorar a compreensão do sucesso, retenção e aproveitamento dos alunos (MAT et al., 2013). A análise acadêmica ajuda a atender ao desejo do público de responsabilidade institucional em relação ao sucesso do aluno, dada a preocupação generalizada com o custo do ensino superior e as difíceis condições econômicas e orçamentárias que prevalecem em todo o mundo (ARNOLD, 2010).

Em instituições de ensino superior, há um grande aumento em práticas de análise acadêmica. Por meio de análises de padrões de dados, informações são fornecidas com decisões baseadas em evidências para padrões de serviços de ensino e aprendizagem, com a finalidade de promover a eficácia operacional e a economia de custo na administração (WONG, 2016). Além de ganhos na parte econômica e administrativa, esse tipo de análise tem melhorado o conhecimento de gestores em relação ao comportamento dos discentes durante sua trajetória educacional, podendo prever e evitar/reduzir ocasiões que os levem a eventos como a evasão e a retenção.

A evasão e a retenção são fenômenos mundiais que têm afetado os sistemas educacionais (ALMEIDA, 2019) e vem sendo constantemente estudados nos últimos anos (OLIVEIRA et al., 2021; NUNES, 2021; COIMBRA et al., 2021; RANGEL et al., 2019; SOUSA et al., 2018). Apesar de serem eventos distintos, vários estudos correlacionam a retenção como um fator de grande impacto nas taxas de evasão (LIMA et al., 2019; RIBEIRO et al., 2019; SOUZA; ARAUJO, 2021).

Segundo Silva et al. (2022), a evasão é um dos problemas mais recorrentes do ensino superior, seja este público ou privado. No Brasil, Castro et al. (2018) ressaltam que o tema ganhou grande repercussão a partir da década de 1990, com a criação da Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB) em 1996, estabelecendo os princípios da educação e dos deveres do Estado em relação à educação escolar pública, no qual o governo federal passou a incentivar a criação de Instituições de Ensino Superior (IES).

O termo evasão pode ser definido como a saída precoce, antecedendo a conclusão do ano, série ou ciclo, por desistência, que, por sua vez, resulta na condição de insucesso em relação ao propósito de promover o aluno a uma condição superior a de ingresso, no que

diz respeito à ampliação do conhecimento, ao desenvolvimento cognitivo, de habilidades e de competências almeçadas para o respectivo nível de ensino (INEP, 2017).

A evasão pode ser classificada em três categorias: a evasão do curso, da instituição e do sistema. A primeira está relacionada à evasão dentro da mesma instituição, muitas vezes entre áreas similares. A segunda, refere-se à saída do curso de uma instituição para outra IES, e, por fim, à evasão do sistema, que além de o aluno sair do curso e da instituição desistiu de estudar de vez (PRESTES; FIALHO, 2018).

Diante desse impacto causado por tais eventos nos sistemas educacionais, estudos têm surgido com maior frequência abordando possíveis caminhos que possam de alguma forma reduzir as taxas de evasão e retenção no ensino superior. Nesse âmbito, indicadores de fluxo escolar são frequentemente utilizados para se analisar a eficácia dos sistemas de ensino, podendo mensurar a movimentação dos discentes entre períodos letivos subsequentes, permitindo calcular o fluxo ou trajetória educacional, além de expressarem relações entre rendimento escolar do aluno e sua trajetória em um determinado nível educacional, sua movimentação entre unidades educacionais integrantes do respectivo sistema de ensino, ou a interrupção prematura dessa trajetória (INEP, 2017).

A partir dos dados de instituições de ensino superior, cursos, turmas ou até disciplinas, é possível obter indicadores de fluxo em diversos níveis de granularidade e proporcionar análises acerca de inúmeros problemas que vem sendo enfrentados pelas IES nos últimos anos. Conforme a metodologia de cálculo dos indicadores de fluxo da educação superior, proposta pelo INEP (2017), a análise das dimensões de permanência, conclusão e desistência permite a criação de três indicadores básicos:

1. Taxa de Permanência (TAP);
2. Taxa de Conclusão Acumulada (TCA);
3. Taxa de Desistência Acumulada (TDA).

A taxa de permanência calcula a porcentagem do total de estudantes vinculados (cursando ou trancado) ao curso j no ano t em relação a quantidade de estudantes que ingressaram no curso j no ano T , subtraindo-se o total de falecidos no curso j do ano T até o ano t , conforme apresentado na Equação 2.1.

$$Tap_{j,T,t} = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n_{1,j,t}} Cur_{i,j,t} + \sum_{i=1}^{n_{2,j,t}} MTr_{i,j,t}}{\sum_{i=1}^n IG_{i=j}^T - \sum_{w=T}^t \sum_{i=1}^{n_{6,j,w}} Fal_{i,j,t}} \right) \times 100 \quad (2.1)$$

Onde:

Cur = Estudante com situação de vínculo igual a cursando no curso *j* no ano *t*.

MTr = Estudante com situação de vínculo trancado no curso *j* no ano *t*.

IG = Número total de ingressantes no curso *j* no ano *T*.

Fal = Estudante com situação de vínculo igual a falecido no curso *j* no ano *t*.

A taxa de conclusão acumulada estima a porcentagem de estudantes concluintes no curso *j* até o ano *t* em relação a quantidade de estudantes que ingressaram no curso *j* no ano *T*, subtraindo-se o total de falecidos no curso *j* do ano *T* até o ano *t*, conforme apresentado na Equação 2.2.

$$Tca_{j,T,t} = \left(\frac{\sum_{w=T}^t \sum_{i=1}^{n_{5,j,w}} For_{i,j,t}}{\sum_{i=1}^n IG_{i=j}^T - \sum_{w=T}^t \sum_{i=1}^{n_{6,j,w}} Fal_{i,j,t}} \right) \times 100 \quad (2.2)$$

Onde:

For = Estudante com situação de vínculo igual a formado no curso *j* no ano *t*.

IG = Número total de ingressantes no curso *j* no ano *T*.

Fal = Estudante com situação de vínculo igual a falecido no curso *j* no ano *t*.

Por último, a taxa de desistência acumulada, que calcula o percentual de estudantes que abandonaram (desvinculado ou transferido) o curso *j* até o ano *t* (acumulado) em relação a quantidade de estudantes que ingressaram no curso *j* no ano *T*, subtraindo-se o total de falecidos no curso *j* do ano *T* até o ano *t*, conforme apresentado na Equação 2.3.

$$Tda_{j,T,t} = \left(\frac{\sum_{w=T}^t \sum_{i=1}^{n_{3,j,w}} Des_{i,j,t} + \sum_{w=T}^t \sum_{i=1}^{n_{4,j,w}} Transf_{i,j,t}}{\sum_{i=1}^n IG_{i=j}^T - \sum_{w=T}^t \sum_{i=1}^{n_{6,j,w}} Fal_{i,j,t}} \right) \times 100 \quad (2.3)$$

Onde:

Des = Estudante com situação de vínculo igual a Desvinculado do curso *j* no ano *T*.

Transf = Estudante com situação de vínculo igual a Transferido para outro curso da mesma IES no curso *j* no ano *T*.

IG = Número total de ingressantes no curso *j* no ano *T*.

Fal = Estudante com situação de vínculo igual a falecido no curso *j* no ano *t*.

Tomando como base o cálculo dos indicadores básicos apresentados anteriormente, pode-se obter outros diversos indicadores que representem a trajetória do estudante no decorrer do curso, de acordo com a necessidade da análise a ser realizada. Neste trabalho, foi necessária a extração de indicadores com a granularidade semestral, para que o modelo construído conseguisse adequar o seu comportamento ao fluxo de entrada e saída dos estudantes a cada semestre do curso.

2.3 Considerações Finais

A partir dos conceitos de modelagem, simulação e análise acadêmica apresentados nesse capítulo, pode-se iniciar a fase de planejamento e implementação do modelo proposto neste trabalho. A compreensão dos indicadores básicos apresentados, foi utilizada como base para gerar os indicadores necessários como parâmetros de entrada no modelo proposto neste trabalho.

3 Trabalhos Relacionados

Neste capítulo são apresentados os trabalhos que possuem correlação com o campo desta pesquisa. Na Seção 3.1, estão dispostos os estudos que abordaram os conceitos de modelagem e simulação. A Seção 3.2, apresentando os trabalhos com ênfase em análise de dados no ensino superior. Por fim, a Seção 3.3, expondo uma análise comparativa entre as características dos trabalhos relacionados.

Os trabalhos abordados neste capítulo foram pesquisados a partir das fontes: SciELO, Periódico CAPES e Google Acadêmico, utilizando a seguinte *string* de busca: ("SIMULATION MODEL" AND ("DROPOUT STUDENTS" OR "CAPACITY PLANNING")). Além disso, foi considerado o intervalo entre 2014 e 2023 na busca dos trabalhos.

3.1 Modelagem e Simulação

Diversos estudos abordando modelos de fluxo estudantil, tanto no ensino superior como na educação básica, foram realizados ao longo dos últimos anos, tendo em sua maioria a utilização de Cadeias de Markov como forma de abordagem.

O estudo de Hlavatý e Dömeová (2014) criou um modelo de progresso do aluno em uma disciplina específica de um curso de graduação, usando abordagens de cadeias de Markov. Para isso, o trabalho foi dividido em dois estágios, no primeiro, a modelagem foi realizada a partir das tentativas de aprovação do aluno na disciplina, já no segundo estágio, criou-se um modelo de progresso do aluno dentro de uma avaliação, dividindo-a entre parte escrita e parte oral, dando retornos ao aluno da situação em que ele se encontrava no momento. Os resultados do primeiro estágio apontaram que apenas uma tentativa já era suficiente para mostrar a capacidade do aluno de ser aprovado na disciplina, pois poucos alunos que falharam na primeira tentativa foram bem sucedidos nas seguintes. Já no segundo estágio, percebeu-se que o *feedback* dado ao aluno no decorrer do processo de avaliação aumentou consideravelmente a sua probabilidade de aprovação na disciplina.

A pesquisa de González-Campos et al. (2020) propôs um modelo de estimativa de risco de evasão individual, utilizando cadeias de Markov, com base na aleatoriedade da ocorrência do fenômeno de evasão. O estudo foi aplicado com 5700 estudantes de

8 universidades. Os resultados demonstraram uma maior probabilidade de evasão nos primeiros 2 semestres do curso, com um percentual médio superior a 39%.

O trabalho de Caicedo et al. (2016) modelou o comportamento do aluno em uma cadeia de Markov de tempo discreto, a pesquisa teve como finalidade estimar a probabilidade de desistência em curso de engenharia. Foram utilizados cerca de 8 mil registros acadêmicos no intervalo entre 2007 e 2011, com informações sobre o código do aluno, o período, a disciplina e as notas obtidas. O modelo foi composto pelos estados aprovado, evadido e a quantidade de tentativas de cursar uma disciplina. Os resultados demonstraram que na disciplina de cálculo diferencial é o momento em que ocorre uma maior possibilidade de evasão, com a probabilidade de 16% de evasão na primeira tentativa de cursá-la.

O trabalho de Cavique et al. (2020) modelou o comportamento de alunos entre o 1º e 12º ano de estudo da educação básica, em uma cadeia de Markov, a fim de prever o desempenho dos alunos nos anos seguintes. Para isso, utilizou-se uma base de dados de 1.700.000 alunos por ano letivo, entre os anos de 2008 a 2016. A partir disso, foram simulados 4 cenários nos quais reduziu-se a quantidade de ingressos em 5% incrementalmente. Os resultados apontaram que em todos os cenários, o número de alunos ativos seria inferior a um milhão nos anos seguintes.

O estudo de Araújo et al. (2019) apresenta uma cadeia de Markov absorvente para simulação do percurso acadêmico do aluno em cursos de ensino superior, para investigação dos impactos causados pela evasão. O modelo considerou a quantidade de reprovações acumuladas pelo estudante para definir a probabilidade de transição no curso. A partir dos cenários realizados nos experimentos, foram identificadas trajetórias capazes de reduzir em até 57% a proporção entre estudantes formados e evadidos. Por outro lado, quando levado em consideração a área de conhecimento de cada curso, a redução média alcançou 73,77% na proporção de evadidos sobre formados.

3.2 Aprendizado de Máquina

O estudo realizado por Kemper et al. (2020) utilizou duas abordagens de aprendizado de máquina, regressões logísticas e árvores de decisão, para prever a evasão de alunos no Karlsruhe Institute of Technology (KIT). Os modelos foram calculados com base em dados

de exames disponíveis em todas as universidades sem a necessidade de coleta específica. De acordo com os resultados, os dois métodos fornecem altas precisões de previsão de até 95% após três semestres e uma classificação com mais de 83% de acerto já foi possível após o primeiro semestre.

A pesquisa de Kabathova e Drlik (2021) realizou uma análise comparativa entre o desempenho de vários classificadores de aprendizado de máquina, e mostram que também um conjunto limitado de recursos, que estão disponíveis para professores no curso de e-learning, podem prever a evasão do aluno com precisão suficiente se as métricas de desempenho forem cuidadosamente consideradas. Foram analisados os dados recolhidos ao longo de quatro anos letivos. Os recursos selecionados no estudo demonstraram ser aplicáveis na previsão de concluintes e não concluintes do curso. A precisão da previsão variou entre 77% e 93% em dados não vistos do próximo ano letivo. Além das métricas de desempenho usadas com frequência, a comparação da homogeneidade dos classificadores de aprendizado de máquina foi analisada para superar o impacto do tamanho limitado do conjunto de dados nos altos valores obtidos de métricas de desempenho. Os resultados mostraram que vários algoritmos de aprendizado de máquina podem ser aplicados com sucesso a um conjunto escasso de dados educacionais.

Tan e Shao (2015) implementaram um modelo preditivo para o evento da evasão, utilizando redes neurais artificiais, árvores de decisão e redes Bayesianas. O estudo selecionou as características pessoais dos alunos e o desempenho acadêmico como atribuições de entrada, utilizando uma amostra de 62.375 alunos nos procedimentos de treinamento e teste do modelo. Os resultados de cada modelo foram apresentados em uma matriz de confusão e analisados por meio do cálculo das taxas de acurácia, precisão, revocação e medida F. De acordo com a análise, todos os três métodos de aprendizado de máquina foram eficazes para prever a evasão de alunos, mas a árvore de decisão se destacou com o melhor desempenho.

Berens et al. (2019) desenvolveram um sistema de detecção precoce usando dados administrativos de alunos de uma universidade estadual e particular para prever o sucesso do aluno como base para uma intervenção direcionada. Para isso, foi utilizada uma análise de regressão, redes neurais, árvores de decisão e o algoritmo AdaBoost para identificar as características dos alunos que distinguem os desistentes potenciais dos graduados. A precisão da previsão ao final do primeiro semestre é de 79% para a universidade estadual

e de 85% para a universidade particular de ciências aplicadas. Após o quarto semestre, a precisão aumenta para 90% para a universidade estadual e 95% para a universidade privada de ciências aplicadas.

3.3 Análise Comparativa

Com base nos estudos citados acima, foi proposto um modelo de simulação que permitisse representar o comportamento de turmas em um curso de graduação. O modelo apresentado neste trabalho possui uma abordagem diferente dos demais, no qual são utilizados os dados de evasão e retenção de um determinado curso para produzir cenários que permitam a redução da fila de espera em períodos/disciplinas com demandas elevadas e, conseqüentemente, proporcionar uma gestão mais eficiente dos recursos disponíveis para administração responsável pelo curso.

Para o comparativo realizado entre os estudos, foram tomados como base os critérios abordados em cada pesquisa e as técnicas utilizadas para cada um deles. Dessa forma, tem-se a Tabela 1, apresentando os estudos correlatos de acordo com os critérios e técnicas dispostos abaixo:

- (a) evasão: indica se o estudo aborda o indicador de evasão;
- (b) retenção: indica que o trabalho aborda o indicador de retenção;
- (c) métricas: indica quais os dados são mensurados pelo modelo, como: 1 - evasão, 2 - retenção, 3 - conclusão e 4 - fila de espera;
- (d) técnicas utilizadas: indica as técnicas utilizadas como: 1 - simulação, 2 - aprendizado de máquina ou 3 - cadeias de Markov;
- (e) abordagem do modelo: indica se o modelo considera o progresso do estudante no curso;
- (f) recursos modelados: indica quais os recursos foram considerados no modelo: 1 - aluno, 2 - curso, 3 - turma, 4 - disciplinas e 5 - professores.

Tabela 1 – Análise Comparativa

Trabalho	a	b	c	d	e	f
-----------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Hlavatý e Dömeová (2014)		x	Retenção	Cadeias de Markov	x	Aluno, curso, disciplina
González-Campos et al. (2020)	x		Evasão	Cadeias de Markov		Aluno, disciplina
Caicedo et al. (2016)	x		Evasão	Cadeias de Markov		Aluno, curso
Cavique et al. (2020)	x		Evasão	Cadeias de Markov	x	Aluno
Kemper et al. (2020)	x		Evasão	Aprendizado de Máquina		Aluno
Kabathova e Drlik (2021)	x		Evasão	Aprendizado de Máquina		Aluno, curso
Tan e Shao (2015)	x		Evasão	Aprendizado de Máquina		Aluno
Berens et al. (2019)	x		Evasão	Aprendizado de Máquina		Aluno
Araújo et al. (2019)	x		Evasão, conclusão	Cadeias de Markov	x	Aluno, curso
Trabalho proposto	x	x	Evasão, fila de espera	Simulação	x	Aluno, curso, turma

Fonte: o autor (2023)

Nota-se uma concentração na abordagem do evento da evasão dentre estudos relacionados a este trabalho. Em contrapartida, o trabalho proposto se apresenta com um maior foco no gerenciamento e otimização da fila de espera, considerando o progresso do estudante no decorrer de sua trajetória no curso, sendo esses os diferenciais em relação aos demais trabalhos.

3.4 Considerações Finais

Nesse capítulo, foram apresentadas as pesquisas relacionadas com o estudo realizado neste trabalho. Dentre os trabalhos discutidos no decorrer do capítulo, foram abordadas áreas como modelagem e simulação, aprendizado de máquina, evasão, gestão de recursos no ensino superior e, em paralelo, foi feito um comparativo entre a alçada explanada por cada estudo. O comparativo realizado permitiu evidenciar os benefícios do estudo proposto, assim como o seu diferencial em relação aos demais, com uma abordagem focada no gerenciamento e otimização de fila de espera. O capítulo seguinte apresenta o embasamento teórico utilizado durante este trabalho.

4 Metodologia

O método utilizado nesta pesquisa foi adaptado do trabalho de Cavique et al. (2020), no qual dividiu-se o processo em 3 etapas: pré-processamento de dados, modelagem e análise dos resultados.

Figura 3 – Etapas do Método Proposto



Fonte: o autor (2023)

Na primeira etapa os dados são processados e uma matriz de probabilidades é gerada, a qual foi utilizada como parâmetro de entrada para o modelo. Na segunda etapa é realizada a formalização do modelo com base nos dados pré-processados, enquanto que, a terceira etapa apresenta-se os experimentos que foram realizados e suas respectivas análises.

O processo realizado no decorrer das etapas é bidirecional e, por vezes, ao longo da elaboração e validação do modelo, se faz necessário o retorno em etapas anteriores para a realização de ajustes no modelo, na coleta de dados e na extração de métricas, permitindo uma otimização em cada estágio e o avanço para as demais etapas do estudo.

4.1 Pré-processamento de Dados

A base de dados utilizada neste trabalho foi extraída de um curso de graduação em uma universidade pública, na área de Tecnologia da Informação. A matriz curricular do curso é composta por 9 períodos, levando em consideração as disciplinas, atividades complementares e o trabalho de conclusão de curso. A escolha do curso se deu pelo elevado percentual de reprovações apresentado por ele, principalmente nos períodos iniciais,

proporcionando um cenário de favorecimento para analisar o impacto causado pela inclusão de vagas extras em determinadas disciplinas do curso.

Ao todo, foram extraídos 5.789 registros com informações de eventos ocorridos com 327 alunos que ingressaram entre os semestres de 2009.1 e 2013.2. Esse corte foi realizado pela necessidade de analisar o comportamento de turmas nas quais os alunos já houvessem finalizado o seu ciclo dentro do curso, seja por conclusão ou evasão. A partir destes registros, coletaram-se informações relacionadas ao perfil do aluno e algumas características da situação em que ele se encontrava no decorrer do curso. O Quadro 1 abaixo, apresenta tais campos e suas respectivas características.

Quadro 1 – Informações Coletadas da Base de Dados

Campo	Descrição
Matrícula	Número de identificação do aluno
Semestre letivo	Semestre atual em que o aluno se encontra
Duração de vínculo	Quantidade de semestres cursados até momento atual
Situação	Status em que o aluno se encontra no curso, podendo variar entre vinculado, evadido ou concluído
Aprovações	Quantidade de disciplinas em que o aluno foi aprovado
Reprovações	Número de vezes em que o aluno ficou retido em alguma disciplina do curso

Fonte: o autor (2023)

A matrícula foi utilizada para fins de agrupamento de seus dados em relação a trajetória do aluno durante o curso. O semestre letivo, em conjunto com a duração de vínculo, situação e quantidade de aprovações e reprovações, são dados que permitem a obtenção de probabilidades de evasão, reprovação e conclusão com base na quantidade de semestres cursados pelo aluno.

Diante das informações coletadas da base de dados, foi realizado um processamento no qual extraiu-se a disciplina de maior retenção em cada período do curso. Levando em consideração o propósito deste estudo, o qual está voltado para análise e gerenciamento de capacidade de turmas, a partir da disciplina de maior índice de retenção em cada período é possível analisar o impacto de inclusão de vagas onde há uma maior incidência de reprovações e, conseqüentemente, uma maior demanda por vagas.

Os indicadores foram calculados a partir de três dimensões relacionadas a situação de vínculo do aluno no curso. Nesse conjunto de dimensões estão: evasão, conclusão e a permanência. Dessa forma, com os dados coletados, foi gerada a matriz de probabilidades dos eventos de evasão, conclusão e reprovação por duração de vínculo, os quais são necessários, posteriormente, para a execução do modelo.

Para o evento de evasão, tomou-se como base os dados com a quantidade de alunos vinculados em cada semestre e o total de alunos que evadiram em cada semestre. Por meio do quantitativo de alunos vinculados e evadidos, pode-se obter a probabilidade de evasão por duração de vínculo ($Tedv$), por meio da quantidade de estudantes evadidos com matrícula no curso j no semestre t em relação ao total de estudantes matriculados no curso j no semestre t , conforme apresentado na Equação 4.1.

$$Tedv_{j,t} = \frac{\sum_{i=1}^n Eva_{j,t}}{\sum_{i=1}^n Mtc_{j,t}} \quad (4.1)$$

Onde:

Eva corresponde ao número total de matriculados, com situação de vínculo igual a Evadido no curso j no semestre t ;

Mtc indica o número total de matriculados no curso j no semestre t .

No evento de reprovação, foram extraídos os dados com a quantidade de alunos vinculados em cada semestre e o total de alunos que reprovaram em cada semestre. A partir do total de alunos vinculados e reprovados é possível obter a probabilidade de reprovação por duração de vínculo ($Trdv$) por meio da quantidade de estudantes reprovados, com matrícula no curso j no semestre t em relação ao total de estudantes matriculados no curso j no semestre t , conforme apresentado na Equação 4.2.

$$Trdv_{j,t} = \frac{\sum_{i=1}^n Rep_{j,t}}{\sum_{i=1}^n Mtc_{j,t}} \quad (4.2)$$

Onde:

Rep corresponde ao número total de matriculados, com situação de vínculo igual a Reprovado no curso j no semestre t ;

Mtc indica o número total de matriculados no curso j no semestre t .

Por fim, o evento de conclusão, no qual foram extraídos os dados com a quantidade de alunos concluintes em cada semestre e o total de alunos que reprovaram em cada semestre. A partir do total de alunos vinculados e concluintes, pode-se obter a probabilidade de conclusão por duração de vínculo ($Tcdv$), por meio da quantidade de estudantes concluintes, com matrícula no curso j no semestre t em relação ao total de estudantes matriculados no curso j no semestre t , conforme apresentado na Equação 4.3.

$$Tcdv_{j,t} = \frac{\sum_{i=1}^n Conc_{j,t}}{\sum_{i=1}^n Mtc_{j,t}} \quad (4.3)$$

Onde:

$Conc$ corresponde ao número total de matriculados, com situação igual a Concluído no curso j no semestre t ;

Mtc indica o número total de matriculados no curso j no semestre t .

Logo, o agrupamento dos alunos por duração de vínculo permite obter a probabilidade da ocorrência dos eventos de evasão, reprovação e conclusão, tomando como base a quantidade de semestres em que o aluno está vinculado no curso.

4.2 Modelagem

A partir do simulador OMNeT++, o modelo foi estruturado em cinco componentes, os quais foram dispostos de modo a incorporar as variáveis responsáveis por armazenar os eventos ocorridos no decorrer da simulação. A seguir, são apresentados os componentes, assim como suas variáveis e atribuições:

- **Aluno** - armazena as características do status em que o aluno se encontra no decorrer da simulação, sendo estas: período de entrada no curso, duração de vínculo e número de reprovações;
- **Ingresso** - são configuradas as turmas que entram a cada semestre no curso, neste componente pode-se definir a capacidade de alunos que ingressarão na turma e o número de ciclos de execução do modelo;
- **Período** - é responsável por receber o aluno, definir o fluxo que ele irá seguir a partir

da matriz de probabilidades, e armazenar os indicadores de fila de espera, tamanho da turma, quantidade de aprovados, reprovados e evadidos;

- **Conclusão** - armazena os dados dos alunos que obtêm êxito na transição entre todos os períodos do curso, finalizando o ciclo do aluno no modelo e coletando seus dados estatísticos;
- **Curso** - módulo responsável por realizar a conexão entre todos os demais componentes do modelo.

Além dos dados armazenados, os componentes Ingresso e Período recebem alguns atributos de configuração que são responsáveis por definir as características e o comportamento que será seguido pelo modelo. O Quadro 2 apresenta esses atributos, bem como uma descrição acerca de sua função e padrão a ser informado.

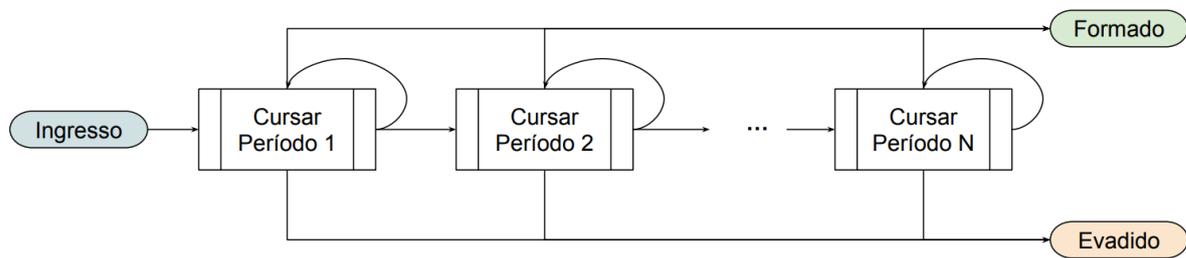
Quadro 2 – Atributos de Entrada para o Modelo

Atributo	Descrição
numberOfSemesters	Indica a duração de tempo, em semestres, que a simulação será executada
classSize	Indica o tamanho padrão da turma ofertado no curso
classCapacity	Indica a capacidade da turma, para cada período do curso, considerando a inclusão de vagas extras
dropoutRatesByDurationOfBond	Probabilidades de evasão, agrupadas por duração de vínculo
disapprovalRatesByDurationOfBond	Probabilidades de reprovação, agrupadas por duração de vínculo
graduationRatesByDurationOfBond	Probabilidades de conclusão, agrupadas por duração de vínculo

Fonte: o autor (2023)

Conforme apresentado acima, o fluxo que o aluno realiza em cada período é determinado pela matriz de probabilidades inserida como parâmetro de entrada no modelo, a Figura 4 apresenta, de forma geral, esse fluxo no decorrer da simulação. Pode-se observar no fluxograma, que o modelo representa o comportamento padrão do aluno, com a possibilidade de progredir, reter, evadir ou graduar-se ao longo de sua jornada nos períodos no curso.

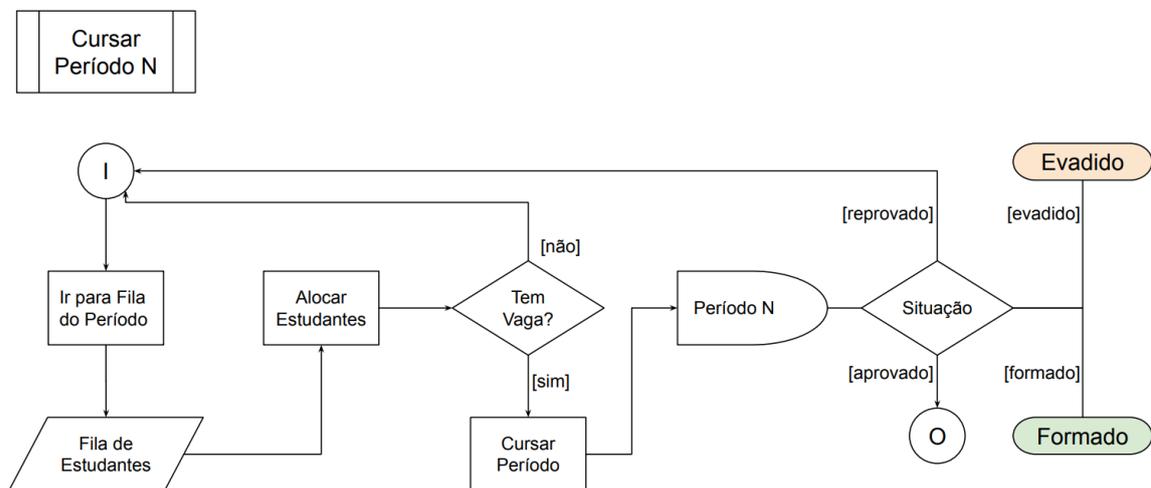
Figura 4 – Fluxograma do Modelo de Simulação Representando a Transição entre os Períodos do Curso



Fonte: o autor (2023)

A partir do momento do ingresso do aluno, ele é adicionado em uma fila para posteriormente ser alocado na turma conforme a ordem de chegada, na qual serão alocados os alunos de acordo com a quantidade de vagas disponibilizadas para o período. Quando as vagas disponíveis não são suficientes, o aluno continua na fila de espera para aguardar uma oportunidade de ser alocado no semestre seguinte. A Figura 5 demonstra esse comportamento, apresentando o caminho tomado pelo aluno até ingressar em um período.

Figura 5 – Fluxograma do Modelo de Simulação para o Comportamento em um Período do Curso



Fonte: o autor (2023)

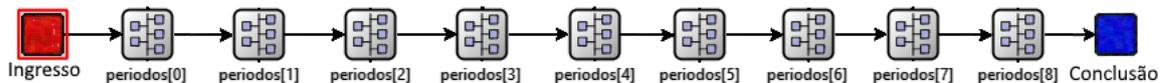
No instante em que o aluno ingressa no período, ele irá determinar se ele irá evadir, concluir, reprovado ou aprovado. O estado evadido representa a evasão e encerra o vínculo do aluno no modelo, o estado conclusão indica que o aluno conseguiu concluir o curso, o estado reprovado mantém o aluno retido no período atual e o status aprovado direciona o

aluno para o período seguinte.

Como já citado anteriormente, o modelo permite capturar eventos de evasão, tamanho de turma e fila de espera em cada período do curso. Entretanto, é importante salientar que não são levadas em consideração todas as disciplinas de cada período, as probabilidades utilizadas no modelo foram extraídas com base na disciplina de maior retenção em cada período do curso. Dessa forma, o período deve ser considerado como a disciplina de maior retenção relacionada a ele.

Em complemento ao fluxograma apresentado, o próprio OMNeT++ gera uma estrutura visual da comunicação que é realizada entre os componentes do modelo, porém com uma visualização mais resumida. Conforme a Figura 6, é possível observar as etapas que representam desde o ingresso do aluno, com a quantidade de períodos especificada para o curso em questão e o fluxo que deve ser percorrido no decorrer da simulação, até a conclusão.

Figura 6 – Diagrama do Modelo Gerado pelo Simulador OMNeT++



Fonte: o autor (2023)

Durante a simulação, os eventos considerados como importantes são coletados e ao final da execução do modelo, o simulador OMNeT++ permite exportar os dados coletados dos eventos para alguns formatos legíveis por máquina. O Quadro 3, apresenta as métricas geradas após a finalização da simulação, assim como a descrição dos dados armazenados em cada uma delas.

Quadro 3 – Métricas Extraídas do Modelo

Métrica	Descrição
dropoutsByDurantionOfBond	Apresenta os dados quantitativos de eventos de evasão por duração de vínculo
graduatesByDurantionOfBond	Apresenta os dados quantitativos de eventos de conclusão por duração de vínculo
classSizeBySemester	Apresenta os dados quantitativos de tamanho da turma por semestre
queueByPeriod	Apresenta os dados quantitativos da fila de espera por período
classSizeByPeriod	Apresenta os dados quantitativos de tamanho da turma por período

Fonte: o autor (2023)

4.3 Análise dos Resultados

O modelo projetado permite a configuração do curso com base na passagem dos atributos mencionados na Tabela 2. Dessa forma, pode-se definir a duração da simulação em semestres, o tamanho de turma padrão para o curso, a capacidade da turma em cada período e as probabilidades de ocorrência dos eventos no curso. O tamanho de turma padrão define quantos alunos irão ingressar no curso a cada semestre, a capacidade da turma indica quantos alunos poderão cursar um determinado período do curso e as probabilidades de evasão, reprovação e conclusão determinam as chances que estes eventos ocorram para um aluno, levando em consideração a quantidade de semestres cursados por ele.

Em um primeiro momento, têm-se o objetivo de realizar uma simulação do modelo sem restrições quanto à capacidade da turma nos períodos. Podendo assim, validar as saídas do modelo com os dados reais extraídos do curso, assim como analisar e propor cenários mais direcionados para resolução do problema de alta demanda de vagas em disciplinas de determinados períodos. Após a análise, planeja-se definir dois cenários, com a inclusão de vagas extras em períodos específicos, buscando a redução da fila de espera.

Conforme a definição dos atributos que são inseridos para a execução da simulação do modelo, tem-se como saídas as métricas apresentadas na Tabela 3. O quantitativo de

eventos de evasão por duração de vínculo, quando cruzado com o quantitativo total de alunos por semestre, permite o cálculo do percentual de evasão no decorrer dos semestres, para o cenário configurado.

Apesar de a ferramenta proporcionar a exportação dos resultados para formatos legíveis por máquina, as métricas fornecidas na saída do modelo ainda apresentam uma visualização que dificulta o entendimento dos resultados, trazendo a necessidade da realização de um processamento para que se torne possível a interpretação desses resultados por meio de tabelas e gráficos.

Para isso, foi utilizada a linguagem de programação *Python*, em conjunto com a biblioteca *Pandas*, na leitura e estruturação das informações de fila de espera e quantidade de alunos vinculados e evadidos por duração de vínculo e por período, em cada ciclo da simulação. Com os dados estruturados, estes forma apresentados em forma de tabela, dispondo informações como a média para o tamanho das turmas em cada período, assim como gráficos de colunas, com a inclusão do desvio padrão.

A observação do tamanho de fila de espera, por meio de gráficos e tabelas pode proporcionar a análise de seu aumento ou diminuição, assim como a percepção da dispersão dos dados com base na variação apresentada pelo desvio padrão nos gráficos. Além disso, para observar os dados relacionados à evasão, foi utilizada a técnica de análise de sobrevivência para verificar em quais períodos há a maior incidência de evasão e também realizar o comparativo entre os resultados dos cenários definidos com os dados do modelo sem restrições de capacidade.

4.4 Considerações Finais

Neste capítulo foi apresentado o método utilizado para esta pesquisa. As Seções destacaram o processamento de dados realizado na base, para utilização como parâmetro de entrada no modelo, a estrutura e comportamento do modelo de simulação, e por fim, a forma como foram realizadas a apresentação e a validação dos resultados. Espera-se que, com essas informações seja possível responder as perguntas de pesquisa formuladas neste trabalho.

5 Modelo Proposto

Este capítulo apresenta a infraestrutura do modelo de simulação produzido neste trabalho. Na Seção 5.1, são apresentadas as configurações de inicialização do modelo. A Seção 5.2 apresenta o comportamentos das principais etapas do modelo, assim como as regras implementadas de acordo com o diagrama da Figura 4, apresentado no capítulo anterior. Por fim, a Seção 5.3, descrevendo a maneira e formato de como os dados são exportados.

5.1 Inicialização

De acordo com a estrutura para implementação de um modelo de simulação do OMNeT++, tem-se duas camadas que se comunicam entre e si e possuem responsabilidades distintas no modelo. A primeira se refere a parte estática da estrutura, a qual é responsável pela definição dos componentes e criação das conexões que vão existir entre eles, por meio das portas de entrada e saída de cada componente. Na segunda camada tem-se a parte lógica, nela são postas em prática todas as regras de definição de fluxo dos alunos no modelo.

Para a execução do modelo, é necessária a configuração da quantidade de turmas que irão ingressar no decorrer da simulação, isso é definido pela variável *numberOfSemesters*. A seguir, é apresentado o bloco com o código responsável por fazer o envio de cada turma, de acordo com os parâmetros informados.

```
void Start::initialize() {
    for (int i = 0; i < numberOfSemesters; i++) {
        sendClass(i);
    }
}
```

Dentro do laço de repetição do bloco apresentado acima, tem-se a chamada do método *sendClass*, o qual é responsável por processar uma turma com uma determinada quantidade de alunos também parametrizada no modelo. Além de criar as instâncias de alunos para a turma, é feito o agendamento da entrada do aluno no curso usando o método

scheduleAt do pacote OMNeT++. Esse método recebe uma estrutura de mensagem e um tempo em milissegundos, o qual determina o momento em que a mensagem deve ser enviada após a inicialização da simulação.

Conforme o código apresentado a seguir, o método *sendClass* executa um laço de repetição que é iterado de acordo com a quantidade de alunos definida no parâmetro *classSize*. Além disso, para cada iteração uma instância do aluno é criada e o agendamento de seu ingresso é realizado conforme o tempo programado. O tempo é definido a partir do índice da turma multiplicado pelo tempo de duração do semestre.

```
void Start::sendClass(int classIndex) {
    for (int i = 0; i < classSize; i++) {
        Student *student = new Student();
        student->setBeginner(true);
        student->setBondDuration(0);
        student->setIngress(classIndex * 6.0);
        scheduleAt((SimTime)(classIndex * 6.0), student);
    }
}
```

Após o processo de agendamento para o ingresso das turmas, as mensagens são processadas no método *handleMessage*. Na estrutura do OMNeT++, esse método recebe as mensagens conforme o tempo de agendamento especificado para o seu envio e realiza o devido processamento seguindo a lógica definida para o modelo. No código abaixo, tem-se a estrutura de recebimento do aluno, o qual é direcionado para ingressar no curso por meio do método *send*.

```
void Start::handleMessage(cMessage *msg) {
    Student *student = dynamic_cast<Student*>(msg);
    gateOut = gateOut == (classSize - 1) ? 0 : gateOut + 1;
    send(student, "out", gateOut);
}
```

5.2 Fluxo de Execução

No momento em que o aluno ingressa no curso, existem algumas verificações a serem executadas. Nessa etapa, o método *handleMessage* recebe os alunos enviados para o curso no processo anterior e, a partir desse momento é verificado o tempo em que o aluno chegou no processo e se esse tempo é diferente do último valor registrado, o tempo alterado indica que um novo semestre foi iniciado e, portanto, as variáveis são reiniciadas e os dados coletados são armazenados, para que uma nova turma seja iniciada.

```
void Period::handleMessage(cMessage *msg) {
    SimTime currentTime = simTime();
    Student *student = dynamic_cast<Student*>(msg);
    if (lastTime != currentTime) {
        issuePeriodData();
        lastTime = currentTime;
        gateOut = 0;
    } else {
        gateOut++;
    }

    processStudent(student);
}
```

Após a etapa de verificação do semestre, os alunos são enviados para serem avaliados em relação ao fluxo que será seguido no período por meio do método *processStudent*. Esse método recebe o aluno, o envia para ser inserido na turma ou para entrar na fila de espera, de acordo com as vagas disponíveis. Em seguida, o primeiro aluno da turma é retirado e enviado para o processo que definirá se ele irá prosseguir para o próximo período, evadir, concluir ou ficar retido.

```
void Period::processStudent(Student *student) {
    addToClassOrQueue(student);
    if (courseClass.getLength() > 0) {
        Student *studentInClass = check_and_cast<Student*>
```

```

        (courseClass.pop());
        studentCounterInClass++;
        evaluateStudentForEvasionAndFailure(studentInClass);
    }
}

```

O método *evaluateStudentForEvasionAndFailure* coleta a quantidade de semestres em que o aluno está vinculado ao curso e utiliza esse dado para realizar as seguintes verificações: se o mesmo irá evadir, reprovar, concluir ou prosseguir para o próximo período do curso, respeitando a ordem em que os eventos foram descritos. Esses eventos necessitam da duração de vínculo devido a matriz de probabilidades ter sido gerada com base na quantidade de semestres que o aluno estava vinculado no curso.

```

void Period::evaluateStudentForEvasionAndFailure(Student *student) {
    int durationBinding = (lastTime.dbl() - student->getEntry())
                        / DURATION_SEMESTER;
    if (evade(durationBinding)) {
        cancelAndDelete(student);
    } else {
        if (disapprove(durationBinding)) {
            send(student, "out", courseClassCapacity + gateOut);
        } else {
            if (graduate(durationBinding)) {
                cancelAndDelete(student);
            } else {
                if(currentPeriod == numberOfPeriods){
                    send(student, "out", courseClassCapacity + gateOut);
                } else {
                    send(student, "out", gateOut);
                }
            }
        }
    }
}
}

```

Para o evento da evasão, é informada a duração de vínculo do aluno e em seguida esse dado é utilizado para buscar na matriz de probabilidades de evasão qual a taxa de evasão para a duração de vínculo informada. Na sequência, um valor aleatório entre 0 e 1 é gerado, o qual é comparado com a probabilidade de evasão coletada e irá definir se o aluno irá evadir ou não.

```
bool Period::evade(int duration) {
    float randomVal = randomValue();
    float probabilityDropout = dropoutRatesByDurantionOfBond[duration - 1];
    return randomVal < probabilityDropout;
}
```

No evento de reprovação, recebe-se a duração de vínculo do aluno e na sequência essa referência é utilizada para buscar na matriz de probabilidades de reprovação a taxa de reprovação pela a duração de vínculo informada. Em seguida, um valor aleatório entre 0 e 1 é gerado, o qual é comparado com a probabilidade coletada e irá definir se o aluno irá reprovar ou não.

```
bool Period::disapprove(int duration) {
    float randomVal = randomValue();
    float probabilityDisapproval =
        disapprovalRatesByDurantionOfBond[duration - 1];
    return randomVal < probabilityDisapproval;
}
```

O evento de conclusão recebe a duração de vínculo do aluno e, posteriormente, essa informação é utilizada para buscar na matriz de probabilidades de conclusão a taxa de conclusão pela a duração de vínculo informada. Em seguida, um valor aleatório entre 0 e 1 é gerado, o qual é comparado com a probabilidade coletada e irá definir se o aluno irá concluir ou não o curso.

```
bool Period::graduate(int duration) {
    float randomVal = randomValue();
    float probabilityGraduation =
        graduationRatesByDurantionOfBond[duration - 1];
}
```

```

return randomVal < probabilityGraduation;
}

```

Para os eventos de graduação e evasão, o ciclo do aluno se encerra no curso no momento de sua ocorrência. No evento de reprovação, o aluno permanece no período atual, retornando para a fila de espera até surgir a oportunidade de cursar o período novamente e, no evento de aprovação, o aluno vai prosseguir para o período seguinte. Para a aprovação, por se tratar de um evento averso a reprovação, o modelo entende que o estudante foi aprovado no momento da não ocorrência da reprovação.

Com o propósito de exemplificar o fluxo do modelo e o caminho percorrido pelo estudante no decorrer da simulação, será apresentado um cenário fictício, demonstrando a sua progressão no decorrer do curso. Dessa forma, tomou-se como base o estudante N, que acabou de ingressar no curso da área de tecnologia da informação. Inicialmente, o estudante N é inserido na fila juntamente com os demais, sendo ele o 35^o a chegar na fila para ingressar no primeiro período do curso. Ao todo, chegaram 46 estudantes na fila e os 40 primeiros serão inseridos na turma, pois essa é capacidade padrão para o curso, enquanto que os demais aguardarão o próximo semestre para ingressar na turma, ocasionando uma fila de espera de 6 estudantes.

O percurso dos estudantes que ingressaram na turma será determinado conforme o conjunto de dados com as probabilidades de evasão: {0.1531, 0.1312, 0.0886, 0.1397}, reprovação: {0.4500, 0.4438, 0.4502, 0.5066} e conclusão: {0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000}, as quais se referem aos quatro primeiros semestres do curso, onde cada posição do conjunto de dados representa a probabilidade para que o evento ocorra de acordo com o tempo de duração de vínculo do estudante no curso, em semestres.

Considerando o estudante N, sabe-se que este é o primeiro semestre em que ele está vinculado ao curso. Dessa forma, seguindo a ordem de verificação do modelo, será avaliada a chance dele evadir, tomando como referência o valor de 0.1531, o qual indica a probabilidade de evasão para os estudantes que estão com duração de vínculo de 1 semestre. Nesse momento, é gerado um valor aleatório entre 0 e 1, e esse valor será comparado com a probabilidade de evasão para definir se o estudante irá evadir ou não.

Supondo que o valor sorteado tenha sido 0.5291, nota-se que o valor aleatório é maior que a probabilidade de evasão para os estudantes que estão com duração de vínculo igual a 1 semestre. Assim, o modelo entende que estudante não irá evadir, partindo para

a etapa de verificação de reprovação. Nessa etapa, considera-se como referência o valor 0.4500, o qual representa a probabilidade de reprovação para estudantes com duração de vínculo igual a 1.

Ao sortear novamente um número entre 0 e 1, obteve-se como retorno o valor 0.7930, valor este também acima que a probabilidade de reprovação de 0.4500 para estudantes com duração de 1 semestre de vínculo. Sendo assim, o estudante N não será reprovado no primeiro período do curso. Por fim, é verificada a probabilidade para concluir o curso. Como o estudante se encontra com duração de vínculo igual a 1 semestre, a probabilidade de ocorrência desse evento é 0.0000. Dessa maneira, independentemente do valor sorteado, o estudante não terá chance de se graduar, prosseguindo para o segundo período curso.

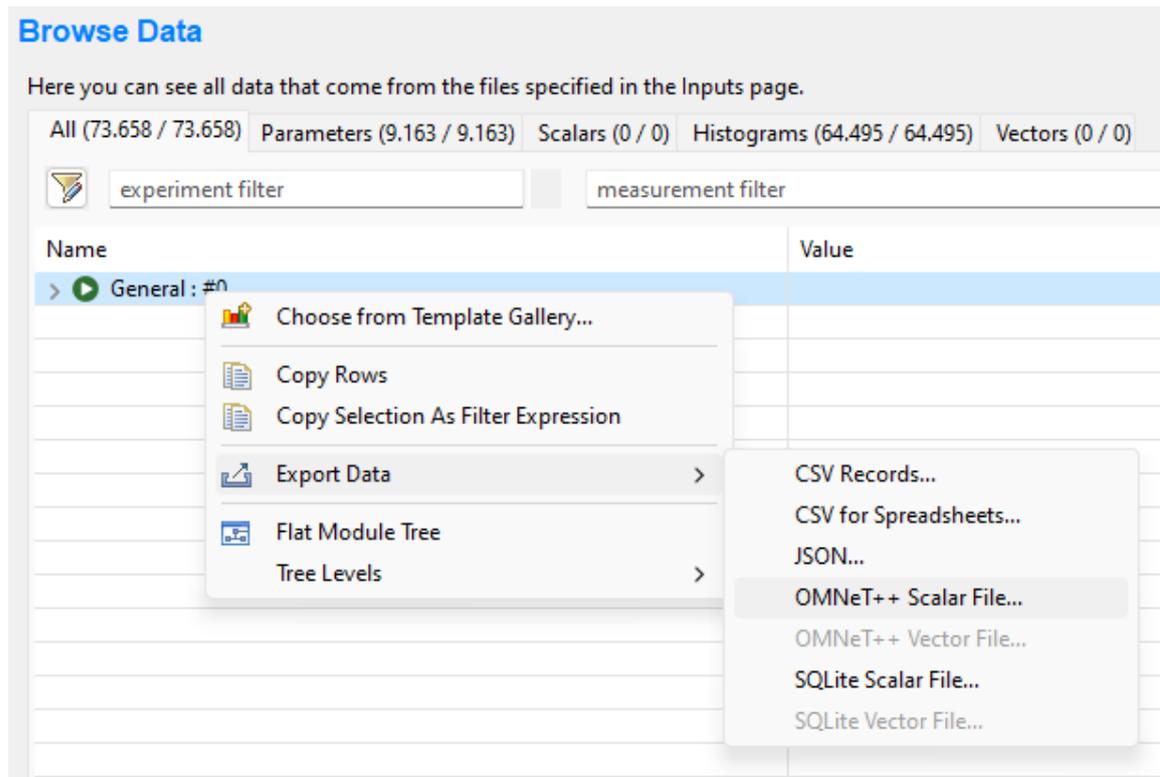
Após a chegada ao segundo período do curso, o estudante N ingressou na fila na posição 28 e, novamente, os 40 primeiros estudantes na fila do segundo período ingressaram na turma. O estudante N está com duração de vínculo de 2 semestres no curso, assim, para o evento da evasão, o modelo utilizará como referência o valor 0.1312 para o evento da evasão. Ao gerar um valor aleatório para o estudante N, obteve-se o valor 0.1127, valor esse inferior ao valor de referência utilizado, ocasionando a evasão dele no curso. Dessa forma, o modelo encerra o fluxo do estudante N no curso, com a ocorrência do evento da evasão no segundo semestre.

5.3 Obtenção de Métricas

As métricas coletadas no modelo, são geradas a partir dos eventos apresentados na Seção 5.2. Após o encerramento da simulação, são emitidos os dados relacionados à fila de espera, evadidos, aprovados, reprovados e concluintes de acordo com o período e duração de vínculo do aluno no curso.

No momento em que a simulação é finalizada, os dados emitidos durante a execução podem ser exportados para alguns formatos legíveis por linguagem de máquina (CSV, JSON, SQL), como apresentado na Figura 7. A disponibilização dos dados gerados na saída da simulação para um formato legível por linguagem de máquina, permite a leitura, tratamento e análise das informações com maior rapidez, dada a viabilidade de um processo automático conseguir realizar o processamento destas informações.

Figura 7 – Processo de Exportação de Métricas do Modelo



Fonte: o autor (2023)

Uma estrutura simplificada dos dados após a exportação para o formato CSV é apresentada na Figura 8, dispondo informações de um cenário hipotético para as métricas do evento de evasão por duração de vínculo. As colunas apresentam as informações do módulo, que representa o período no qual os dados foram coletados, o tipo de métrica e o número de vezes que o evento ocorreu para o período especificado.

O índice atrelado a cada registro do módulo indica o período específico no qual o evento ocorreu, o índice vinculado à métrica representa a duração de vínculo, em semestres, do aluno no momento da ocorrência do evento, enquanto que, a última coluna apresenta a quantidade de ocorrências com base no período e duração de vínculo informado. Os dados apresentados acima, foram filtrados com base na duração de vínculo de até 6 semestres, para fins de exemplificação da estrutura de saída do modelo.

Figura 8 – Estrutura de Métricas Extraídas do Modelo para o Evento da Evasão

module	name	count
Course.periods[0]	dropoutRatesByDurationOfBond[0]:stats	61273
Course.periods[0]	dropoutRatesByDurationOfBond[1]:stats	20131
Course.periods[0]	dropoutRatesByDurationOfBond[2]:stats	4574
Course.periods[0]	dropoutRatesByDurationOfBond[3]:stats	2256
Course.periods[0]	dropoutRatesByDurationOfBond[4]:stats	947
Course.periods[0]	dropoutRatesByDurationOfBond[5]:stats	865
Course.periods[0]	dropoutRatesByDurationOfBond[6]:stats	498
Course.periods[1]	dropoutRatesByDurationOfBond[1]:stats	24064
Course.periods[1]	dropoutRatesByDurationOfBond[2]:stats	12092
Course.periods[1]	dropoutRatesByDurationOfBond[3]:stats	4908
Course.periods[1]	dropoutRatesByDurationOfBond[4]:stats	1040
Course.periods[1]	dropoutRatesByDurationOfBond[5]:stats	999
Course.periods[1]	dropoutRatesByDurationOfBond[6]:stats	786
Course.periods[2]	dropoutRatesByDurationOfBond[2]:stats	7928
Course.periods[2]	dropoutRatesByDurationOfBond[3]:stats	14553
Course.periods[2]	dropoutRatesByDurationOfBond[4]:stats	5444
Course.periods[2]	dropoutRatesByDurationOfBond[5]:stats	2457
Course.periods[2]	dropoutRatesByDurationOfBond[6]:stats	726
Course.periods[3]	dropoutRatesByDurationOfBond[3]:stats	6285
Course.periods[3]	dropoutRatesByDurationOfBond[4]:stats	5857
Course.periods[3]	dropoutRatesByDurationOfBond[5]:stats	5519
Course.periods[3]	dropoutRatesByDurationOfBond[6]:stats	2310

Fonte: o autor (2023)

5.4 Considerações Finais

Este Capítulo apresentou a estrutura do modelo por meio de blocos específicos de códigos, nos quais foram dispostos o fluxo que o aluno pode percorrer no decorrer da simulação baseado nas probabilidades inserida no modelo. Percebe-se que o OMNeT++ permite a representação de um determinado comportamento, independente de sua complexidade, de maneira simples, bem estruturada e abstraíndo qual a abordagem é realizada pelo modelo.

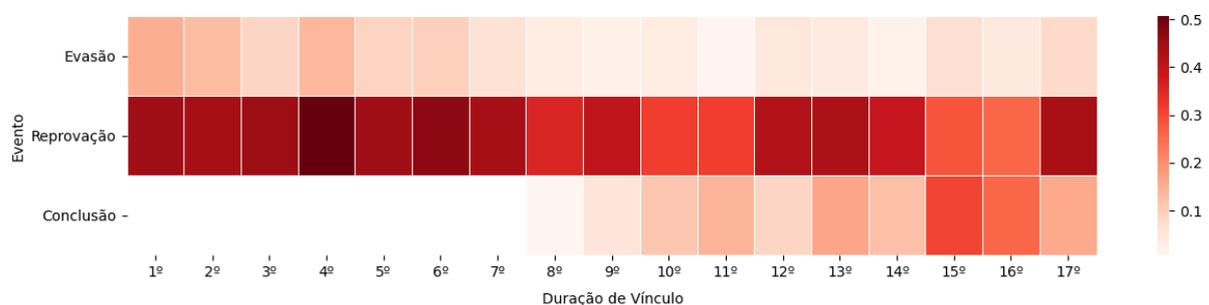
6 Resultados

Este capítulo apresenta os resultados obtidos a partir dos experimentos definidos. Na Seção 6.1, é apresentada a avaliação atual do curso, dispondo a matriz de probabilidades, a validação dessas informações entre as saídas do modelo e a definição dos dois experimentos a serem realizados. Na Seção 6.2, são relatados os resultados para o primeiro experimento, bem como a avaliação dos impactos causados pela alteração na quantidade de vagas ofertadas. Por fim, a Seção 6.3, apresentando os resultados obtidos para o segundo experimento realizado, assim como uma discussão acerca das perguntas de pesquisa elaboradas para o estudo.

6.1 Avaliação Atual do Curso

Após a realização do processamento de dados para extração das informações que são utilizadas como parâmetro de entrada no modelo, foram realizadas algumas análises e validações em cima dos dados coletados e o modelo projetado. Na Figura 9 a seguir, é apresentado o mapa de calor da matriz de probabilidades gerada a partir da base de dados, para os eventos de evasão, reprovação e conclusão. Nota-se um elevado percentual de reprovação em todos os semestres, com média de 40,22%, um fator determinante para a alta demanda por determinadas disciplinas no curso.

Figura 9 – Mapa de Calor da Matriz de Probabilidades de Eventos



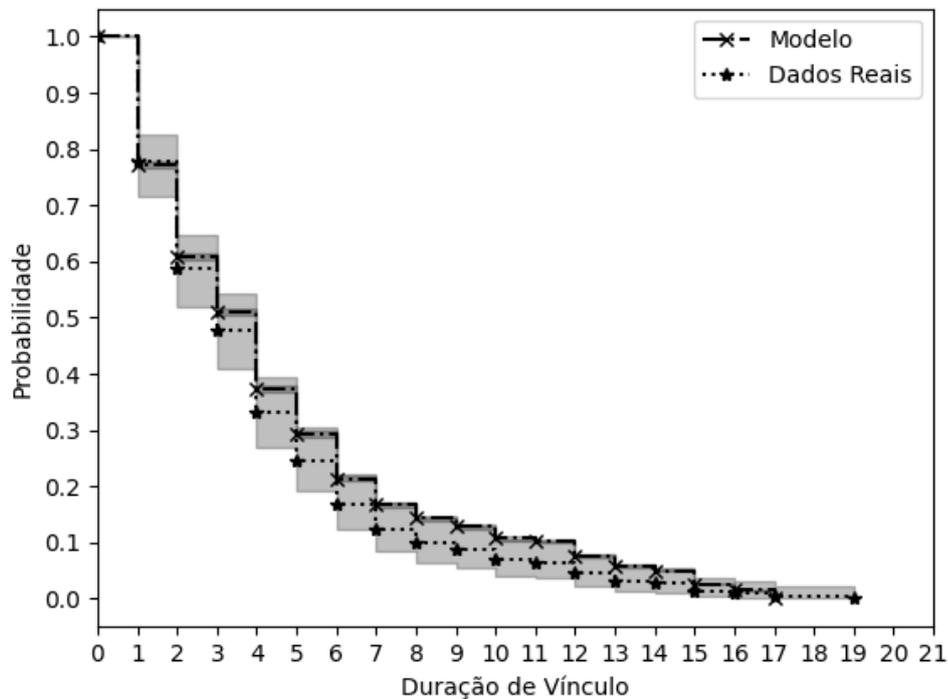
Fonte: o autor (2023)

A partir das probabilidades coletadas para os eventos, foi realizada uma simulação do modelo para analisar os resultados e validar as saídas em relação aos dados reais extraídos do curso utilizado. Assim, a simulação foi executada como 40 ingressantes por

semestre e sem nenhuma restrição quanto à capacidade de alunos na turma, isso permitiu obter uma estimativa do tamanho da turma em cada período e a extração das métricas de evasão e conclusão para a etapa de validação.

Posteriormente a simulação, foi realizado um comparativo entre as métricas coletadas e os dados reais utilizados. O gráfico apresentado na Figura 10 expõe comparativo entre a análise de sobrevivência para o evento da evasão ocorrido entre a saída do modelo e os dados reais coletados.

Figura 10 – Análise de Sobrevivência para a Evasão - Comparativo entre Dados Reais e Saídas do Modelo



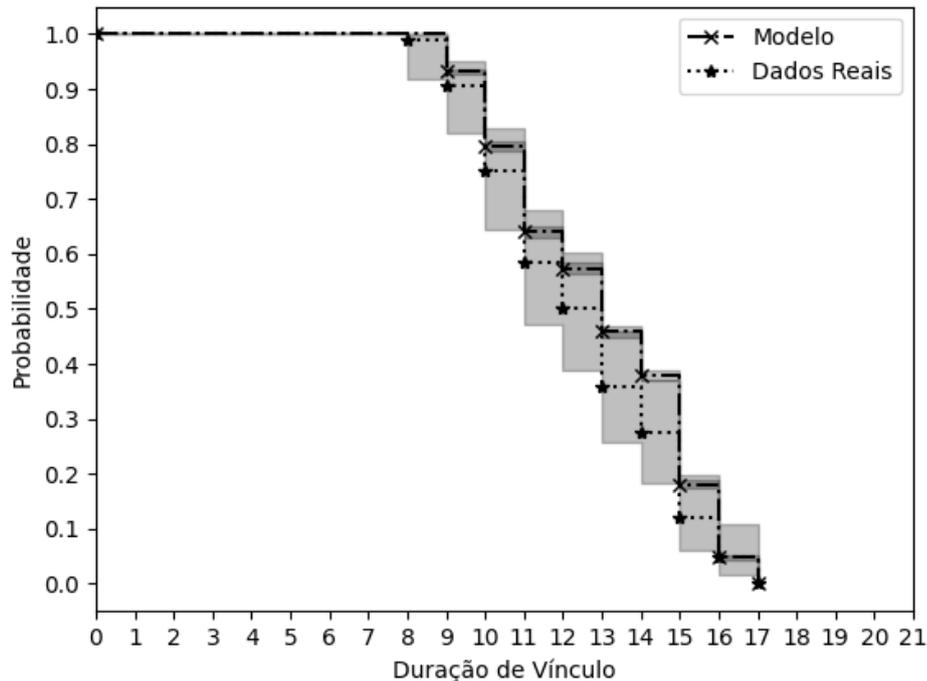
Fonte: o autor (2023)

O gráfico apresentado acima, exibe os índices de evasão de acordo com a duração de vínculo do aluno no curso. Além disso, também é disposto o intervalo de confiança de 95% para observação da compatibilidade entre as duas amostras. Levando em consideração as informações para a base de dados reais, nota-se que as métricas apresentadas na saída do modelo demonstraram índices menores de evasão após o segundo período do curso, porém permaneceram matematicamente compatíveis com base no intervalo utilizado.

Quanto ao comparativo entre as taxas de conclusão do modelo e os dados reais, o gráfico da Figura 11 apresenta os resultados da análise de sobrevivência para as duas amostras com seus respectivos intervalos de confiança para 95%. As taxas de conclusão

obtidas por meio da simulação ao longo dos semestres se apresentaram mais tênues nos primeiros semestres de ocorrência do evento, quando comparado aos dados reais. Contudo, as amostras se mantiveram iguais quando levado em consideração o intervalo de confiança.

Figura 11 – Análise de Sobrevivência para a Conclusão - Comparativo entre Dados Reais e Saídas do Modelo



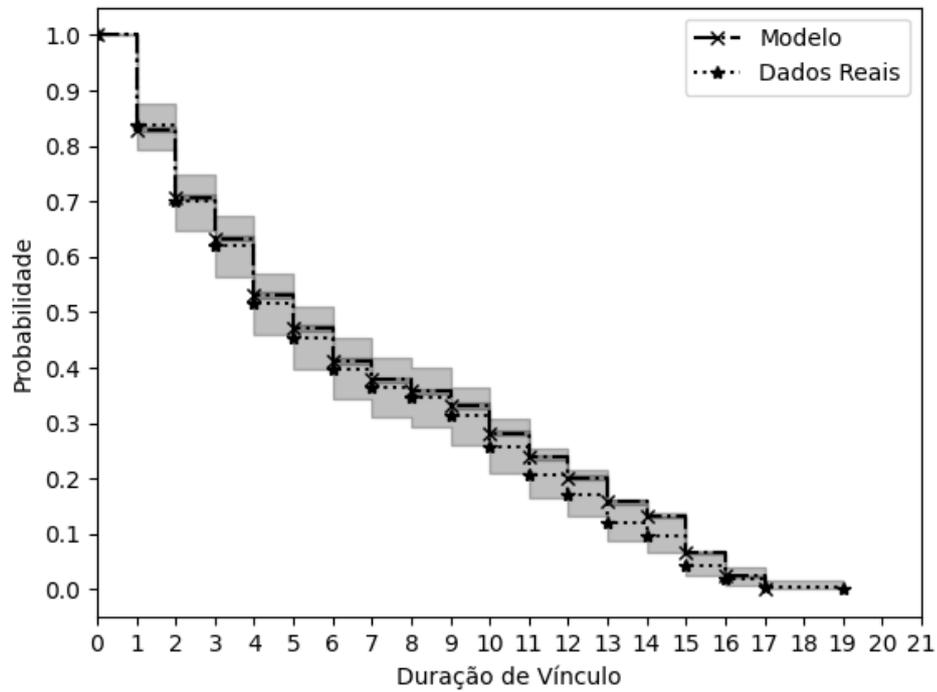
Fonte: o autor (2023)

Também, foi realizada uma análise comparativa em relação ao evento de desvinculação do aluno no curso, esse indicador corresponde a soma dos eventos de evasão e conclusão, os quais correspondem a saída do aluno. O gráfico apresentado na Figura 12, expressa o comparativo entre os dados reais e as saídas do modelo.

Analisando as duas amostras por meio da junção dos indicadores de evasão e conclusão, nota-se uma maior aproximação entre os resultados, quando comparado os valores apresentados separadamente.

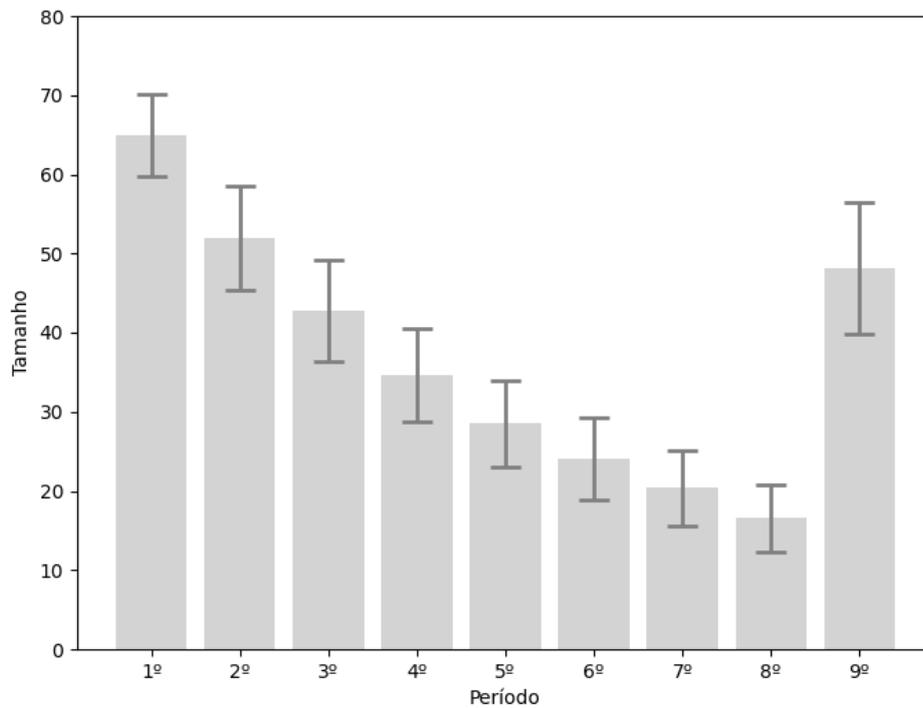
Após a análise e validação dos dados reais e saídas do modelo, foi iniciada a análise relacionada ao tamanho e variação da turma do decorrer dos períodos do curso, com base nas informações coletadas para a simulação que foi realizada. O gráfico da Figura 13 apresenta o tamanho médio e o desvio padrão da turma em cada período, obtido por meio desse experimento sem restrições de capacidade.

Figura 12 – Análise de Sobrevivência para a Desvinculação - Comparativo entre Dados Reais e Saídas do Modelo



Fonte: o autor (2023)

Figura 13 – Métricas da Turma para o Modelo sem Restrições de Capacidade



Fonte: o autor (2023)

Percebe-se que o tamanho das turmas tende a diminuir ao longo dos períodos, com

exceção 9^o período, sendo este o último do curso selecionado para o estudo. No último período do curso a retenção tende a aumentar, isso ocorre devido à retenção ocasionada pelo trabalho de conclusão de curso (TCC). Nessas ocasiões onde são apresentados maiores índices retenção no TCC, não há como propôr alternativas para otimização com o aumento de vagas, pois já não existem restrições quanto à capacidade de estudantes. Fazendo-se necessário a tomada de ações específicas, além do objeto desse estudo, para melhorar os índices de graduação após a chegada ao TCC.

Os dados apresentados na Tabela 2, expõem a média, desvio padrão (σ) e o intervalo para 2σ em relação ao tamanho da turma, para cada período do curso. A média demonstra a concentração dos dados para a amostra, o desvio padrão indica o grau de dispersão para o conjunto de dados e o intervalo para 2σ representa a variação para aproximadamente 95% da amostra.

Analisando os intervalos apresentados, observa-se que do 5^o período em diante, com exceção do 9^o período, o intervalo máximo em relação ao volume da turma, apresenta valores menores que o tamanho de turma de 40 alunos, quantidade padrão ofertada pelo curso.

Tabela 2 – Média (μ), Desvio Padrão (σ) e Intervalo para (2σ) em cada Período do Curso, no Modelo sem Restrições de Capacidade

Período	μ	σ	$[\mu - 2\sigma; \mu + 2\sigma]$
1 ^o	64,9521	5,1468	[54,6584; 75,2459]
2 ^o	51,9850	6,6140	[38,7569; 65,2132]
3 ^o	42,7422	6,4424	[29,8575; 55,6271]
4 ^o	34,6388	5,9428	[22,7531; 46,5245]
5 ^o	28,5064	5,4860	[17,5343; 39,4786]
6 ^o	24,0227	5,2341	[13,5546; 34,4910]
7 ^o	20,4155	4,7542	[10,9070; 29,9240]
8 ^o	16,5471	4,1724	[8,2022; 24,8921]
9 ^o	48,0671	8,3101	[31,4469; 64,6875]

Fonte: o autor (2023)

Entretanto, ao fazer uma análise conjunta entre as informações apresentadas acima,

percebe-se que apesar de manter um alto índice de reprovação no decorrer dos semestres, o volume de alunos diminui consideravelmente após o 4^o período do curso, apresentando uma média abaixo da quantidade padrão de vagas que é ofertada por turma.

Além disso, alguns cenários foram testados com a inclusão de um pequeno volume de vagas extras para analisar o comportamento da fila de espera. Nesses cenários, notou-se um enorme gargalo quando a quantidade de vagas extras disponibilizada era inferior a 25 nos 4 primeiros períodos do curso.

Dessa forma, levando em consideração as análises acima mencionadas e o foco desta pesquisa no gerenciamento da capacidade de turmas, foram definidos dois experimentos para verificar o comportamento do modelo e analisar a fila de espera produzida. No experimento para inclusões de tamanho fixo de vagas extras, a configuração foi projetada com a inclusão incremental de 30 vagas extras nos 4 primeiros períodos do curso, originando 4 cenários, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Experimento para Inclusões de Tamanho Fixo de Vagas Extras

Cenário	Capacidade da Turma			
	1 ^o período	2 ^o período	3 ^o período	4 ^o período
A	70	40	40	40
B	70	70	40	40
C	70	70	70	40
D	70	70	70	70

Fonte: o autor (2023)

A definição dos cenários iniciais com inclusão da quantidade de 30 vagas extras no experimento foi motivada pelos gargalos encontrados a partir da realização de simulações preliminares. Já no experimento para inclusões de tamanho variável de vagas extras, foram feitas inclusões nos 3 primeiros períodos do curso, adicionando incrementalmente 5 vagas extras no intervalo entre 65 e 80, no qual foram gerados os cenários apresentados na Tabela 4.

Esse intervalo de vagas extras, partindo de 25 até 40 vagas, teve como intuito o levantamento de cenários nos quais a fila de espera começa a apresentar uma diminuição,

Tabela 4 – Experimento para Inclusões de Tamanho Variável de Vagas Extras

Cenário	Capacidade da Turma		
	1 ^o período	2 ^o período	3 ^o período
E	65	65	65
F	70	70	70
G	75	75	75
H	80	80	80

Fonte: o autor (2023)

com bases em análises preliminares, até a sua eliminação total, proporcionando análises que permitam a escolha de alternativas de acordo com os recursos disponíveis.

6.2 Experimento para Inclusões de Tamanho Fixo de Vagas Extras

Nesse primeiro experimento, foram analisadas as variações nos índices de evasão e na fila de espera gerada. Ao todo, quatro cenários foram modelados considerando as informações de variação de tamanho de turma que foram levantadas a partir dos testes iniciais realizados no modelo sem restrições de capacidade.

Inicialmente, foi realizada a configuração das turmas com a definição da quantidade de ingressantes, a capacidade de alunos suportada em cada período do curso e a inclusão das probabilidades de evasão, reprovação e conclusão. Considerando a quantidade atual de ingressantes no curso, definiu-se que 40 alunos ingressariam a cada semestre no modelo. Com relação a capacidade de alunos e as probabilidades, foram utilizados os dados conforme a Tabela 3 e Figura 9, apresentadas anteriormente.

Posteriormente a configuração dos parâmetros de entrada do modelo, foi realizada uma simulação com 10.000 ciclos de execução. Em outras palavras, 10.000 turmas compostas por 40 alunos ingressaram no modelo e passaram pela simulação, avaliando e coletando características do comportamento dos alunos no decorrer da sua evolução no curso. Ao final da simulação, a ferramenta permite fazer a extração dos resultados em formatos legíveis por máquina.

Com as informações estruturadas, foi realizado o cálculo da fila de espera média ocasionada em cada período. Também, foram estruturados os dados relativos ao evento

de evasão tomando como referência a duração de vínculo do aluno no curso, dessa forma pode-se analisar os índices de evasão e fazer um comparativo em relação à base real. Na Tabela 5, são apresentados esses resultados, com a fila de espera média de cada período, obtidos nos quatro cenários.

Tabela 5 – Fila de Espera Média por Período - Experimento para Inclusões de Tamanho Fixo de Vagas Extras

Cenário	Período								
	1 ^o	2 ^o	3 ^o	4 ^o	5 ^o	6 ^o	7 ^o	8 ^o	9 ^o
A	0,4397	210,3323	0,0972	0,0972	0,0069	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
B	0,6653	0,0010	41,4792	0,1212	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
C	0,5184	0,0050	0,0000	0,9425	0,0239	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
D	0,4940	0,0010	0,0000	0,0000	0,0278	0,0010	0,0000	0,0000	0,0000

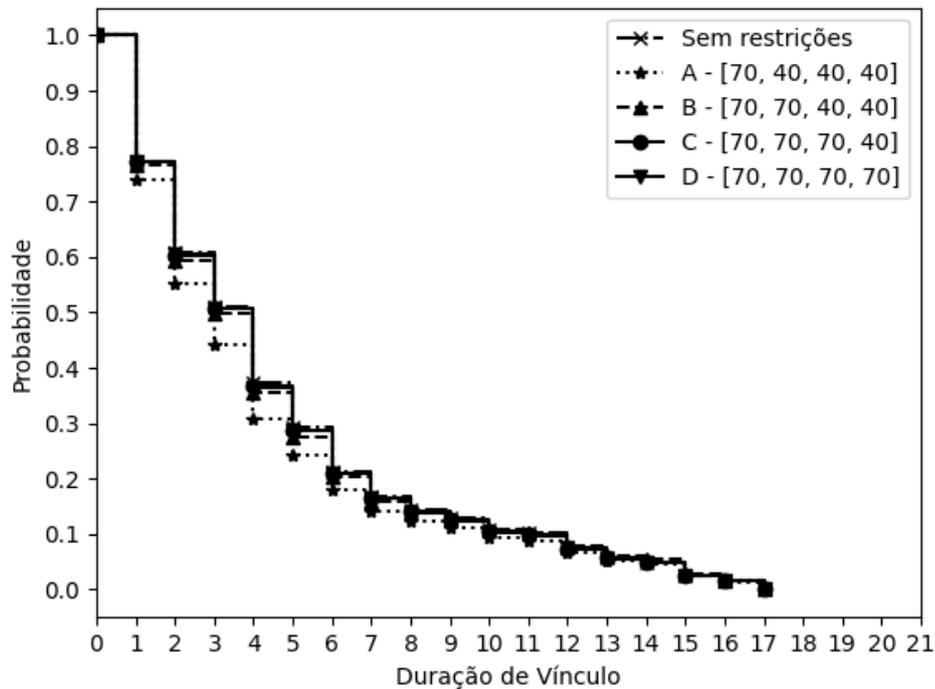
Fonte: o autor (2023)

No cenário A, percebe-se uma quantidade elevada de alunos na fila de espera do 2^o período, com uma média acima de 210. Isso ocorreu em virtude da inclusão de 30 vagas extras apenas no 1^o período, ocasionando uma demanda mais elevada no período seguinte. Nesse primeiro cenário, notou-se a necessidade da distribuição das vagas extras uniformemente nestes períodos iniciais.

No cenário B, a inclusão de vagas extras no segundo período conseguiu suprir a demanda gerada pelo aumento do tamanho da turma no 1^o período, no entanto o 3^o período ainda apresentou uma fila de espera média de 41,4792 alunos. Nos cenários C e D, a fila de espera apresentou redução em todos os períodos, tendo as médias mais altas no 4^o período, com 0,9425 alunos e 1^o período com 0,4940 alunos.

O gráfico da Figura 14 apresenta o resultado da análise de sobrevivência da evasão do primeiro experimento, nele também foi adicionado o cenário base para efeitos de comparação, no qual a simulação foi realizada sem restrições de capacidade da turma. No cenário A, é possível constatar um aumento da evasão nos semestres iniciais, onde foi feita uma inclusão de vagas extras apenas no primeiro período.

Figura 14 – Análise de Sobrevivência da Evasão - Experimento para Inclusões de Tamanho Fixo de Vagas Extras



Fonte: o autor (2023)

O cenário B apresentou uma variação mais sutil em relação ao cenário base, reflexo esse causado pela redução da fila de espera gerada no primeiro e segundo período, como mencionado anteriormente nos cenários A e B da Tabela 5. Os cenários C e D apresentaram uma aproximação do cenário base em relação a evasão, ocasionada pela diminuição na média da fila de espera em todos os períodos do curso.

6.3 Experimento para Inclusões de Tamanho Variável de Vagas Extras

No segundo experimento, os cenários foram definidos com alterações nos três primeiros períodos do curso. Tendo em todos os períodos um acréscimo igualitário na quantidade de vagas extras, para cada cenário.

Ao todo, quatro cenários foram gerados nesse experimento. No primeiro, foram incluídas 25 vagas extras em cada período, ou seja, somando-se as 40 vagas já disponibilizadas, tem-se 65 vagas disponíveis nos 3 períodos iniciais do curso. Para os demais cenários, houve um acréscimo de 5 vagas em relação ao cenário anterior, essas informações podem ser observadas na Tabela 4.

A matriz de probabilidades utilizada com parâmetro de entrada para o modelo, seguiu a mesma estrutura do primeiro experimento, conforme apresentado na Figura 9. Após isso, para todos os cenários definidos foi realizada a simulação com 10.000 ciclos de execução, na qual 40 alunos ingressavam no curso a cada ciclo de execução.

Na Tabela 6, são apresentados os resultados das médias geradas pela fila de espera em cada período. Pode-se observar que o cenário E apresentou um valor consideravelmente elevado na fila de espera, com média de 12,3058 no 1º período, e valores próximos a 0 nos períodos seguintes. Os cenários F, G e H, nos quais foram incluídas 30 ou mais vagas extras nos 3 períodos iniciais, a fila de espera média apresentou valores baixos, sempre no intervalo entre 0 e 1.

Tabela 6 – Fila de Espera Média por Período - Experimento para Inclusões de Tamanho Variável de Vagas Extras

Cenário	Período								
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º
E	12,3058	0,0407	0,0000	0,5833	0,0079	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
F	0,4940	0,0010	0,0000	0,0000	0,0278	0,0010	0,0000	0,0000	0,0000
G	0,0000	0,0000	0,0000	0,8710	0,0219	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
H	0,0000	0,0000	0,0000	0,9970	0,0278	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Fonte: o autor (2023)

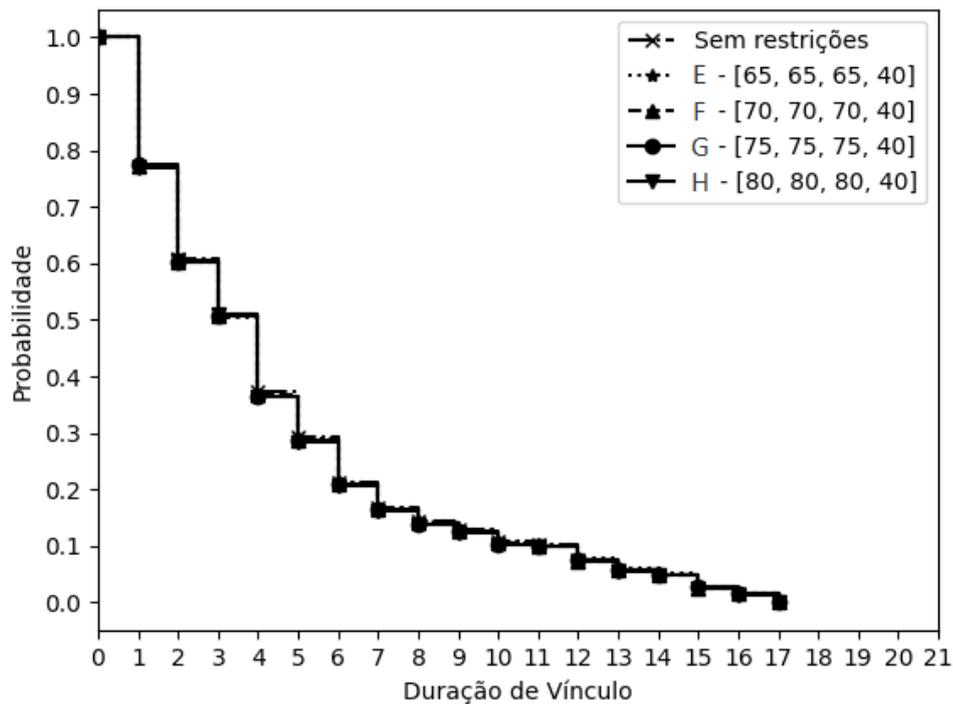
Percebe-se que a estabilização da fila de espera está associada, tanto ao aumento da quantidade de vagas, como também a distribuição dessas vagas em quantidades uniformes entre os períodos onde há uma maior demanda por vagas. Dessa forma, com o aumento de vagas em um determinado período, conseqüentemente, também demandará uma maior oferta de vagas no período seguinte.

Especificamente a partir do cenário F, ocorre um equilíbrio na fila de espera, de forma que, aumentar a quantidade de vagas extras não incide em alterações significativas na fila de espera. Ou seja, com a inclusão de 30 vagas extras nas disciplinas de maior retenção nos 3 primeiros períodos do curso, consegue-se alcançar um cenário no qual a fila de espera é praticamente eliminada.

Por último, na análise de sobrevivência da evasão do segundo experimento

apresentada na Figura 15, pode-se notar que os índices de evasão para os cenários definidos, não sofreram alterações significativas em relação ao cenário base. Ou seja, a partir da inclusão de 25 vagas extras nos 3 períodos iniciais, o comportamento nos índices de evasão tende a se estabilizar no comparativo ao cenário base utilizado.

Figura 15 – Análise de Sobrevivência da Evasão - Experimento para Inclusões de Tamanho Variável de Vagas Extras



Fonte: o autor (2023)

Tendo em vista os resultados apresentados neste trabalho, serão abordadas as duas perguntas de pesquisa deste trabalho, as quais são fundamentais para responder se os objetivos do estudo foram alcançados. A primeira questão investigada foi: Pensando no estudo como uma estratégia para reduzir a fila de espera em turmas com alto índice de retenção, como modelar um sistema que seja capaz de conseguir apresentar resultados relevantes ao problema, considerando as particularidades de cada curso? A modelagem com a possibilidade da configuração do tamanho de turma, capacidade e probabilidades para os eventos de reprovação, evasão e conclusão do curso, se mostrou muito eficaz no quesito redução da fila de espera.

Ao analisar os dados coletados, observamos que a inclusão de vagas extras resultou uma grande diminuição na fila de espera de forma otimizada, permitindo a análise de diversos cenários, conforme apresentado nos cenários das Tabelas 5 e 6. Também, foi

possível constatar nos dois experimentos, que os cenários C e F, respectivamente, foram os que apresentaram os cenários mais eficazes, levando em consideração a quantidade de vagas extras disponibilizadas e a redução na quantidade média de alunos na fila de espera.

A segunda pergunta de pesquisa explorada foi: 2. Quais os atributos precisam ser considerados na saída do modelo, para avaliar os resultados apresentados pelos experimentos e obter indicadores que auxiliem no problema abordado? A partir das análises realizadas após a simulação dos experimentos, notou-se que por meio das métricas de fila de espera por período, evasão, conclusão e desvinculação com base na duração de vínculo do aluno, conseguiram fornecer indicadores capazes de otimizar o planejamento de capacidade de turmas, além de permitir a análise do impacto causado pelos cenários simulados nos eventos de evasão e conclusão do curso.

Dessa forma, entende-se que foram alcançados os objetivos definidos para este trabalho, levando em consideração os impactos positivos da inclusão de vagas extras em turmas onde há maior incidência de reprovações. Possibilitando aos gestores, alternativas que podem ser seguidas de acordo com os recursos e necessidade do curso.

6.4 Considerações Finais

Este capítulo apresentou os resultados obtidos a partir dos cenários definidos para este estudo. Levando em consideração os quesitos que podem ser analisados na gestão de uma instituição, os resultados aqui apresentados podem proporcionar várias abordagens a serem seguidas para escolher o cenário que proporcione o caminho mais otimizado no gerenciamento de capacidade de turmas extras, uma vez que o gestor deve levar em consideração a melhor alternativa, tanto em termos de redução da fila de espera, como também em relação ao custo gerado pela decisão.

7 Conclusão

Os limitados recursos disponibilizados para as instituições públicas de ensino superior geram uma grande dificuldade para que os responsáveis por esse gerenciamento consigam suprir as demandas que surgem no decorrer de uma administração de cursos/universidades. Fatores como infraestrutura, corpo docente e o nível socioeconômico dos estudantes tornam a complexidade de tal gestão ainda mais elevada.

Este trabalho propôs um modelo de simulação de progresso estudantil no decorrer de um curso de graduação, abordando o impacto causado pela inclusão de vagas extras em disciplinas de maior retenção dos períodos iniciais e analisando os efeitos desse cenário na evasão estudantil. Por meio deste estudo, busca-se otimizar a quantidade de vagas disponibilizadas para disciplinas com demanda elevada.

Os resultados apontaram que a inclusão de vagas extras na turma, para os períodos iniciais do curso pode evitar grandes filas de espera de uma forma otimizada. Ainda, de acordo com os cenários elaborados, foi possível perceber que a inserção de 30 vagas extras nas turmas dos 3 períodos iniciais foi o cenário em que o modelo obteve o melhor comportamento no quesito fila de espera, reduzindo-a em cerca de 99% no comparativo ao quadro que apresentou os índices mais elevados.

Por outro lado, o cenário com a inclusão de 25 vagas extras nos 3 períodos iniciais gerou uma fila de espera média de 12,31 estudantes no primeiro período do curso e se aproximou dos valores apresentados no cenário com a inclusão de 30 vagas extras nos demais períodos. Cabendo, assim, a gestão da instituição definir qual alternativa atenderá de forma mais otimizada a necessidade de acordo com os recursos existentes.

Os indicadores apresentados neste trabalho podem contribuir para que gestores de universidades consigam otimizar o seu planejamento, no que diz respeito à distribuição de recursos/vagas extras, abordando diferentes cenários e os impactos causados por eles na fila de espera e nos índices de evasão. Podendo ele alternar na escolha do cenário no qual a fila de espera foi eliminada e algum outro onde a disponibilização das vagas gere menor custo.

Como principal limitação encontrada neste trabalho, está a modelagem considerando o período como a disciplina de maior retenção relacionada a ele, podendo ocasionar uma menor precisão nos resultados da simulação em comparação com os dados reais. A

ampliação desse cenário para considerar todas as disciplinas de cada período, exigiria um acesso mais detalhado sobre as informações da base de dados utilizada, com informações que permitissem analisar o comportamento do aluno em todas as disciplinas do curso, e não apenas na disciplina que apresentou maior retenção em cada período. Além disso, a inclusão desse cenário aumentaria bastante a complexidade do modelo, pela necessidade de ter que representar o fluxo dos estudantes nas disciplinas, assim como os pré-requisitos de cada uma delas.

Para trabalhos futuros, pretende-se fazer a inclusão de cursos que envolvam outras áreas de conhecimento. Também, sugere-se o cruzamento de dados do orçamento planejado para o curso aos resultados expostos pelo modelo, utilizando informações como docentes e salas disponíveis, a fim de investigar o custo benefício dos cenários elaborados pelo mesmo e propôr a melhor alternativa de acordo com os recursos disponíveis pela instituição. Outra alternativa é o refinamento do nível de abstração do modelo, englobando todas as disciplinas do curso ao invés de apenas a de maior retenção, a fim de alcançar maior precisão na simulação e, conseqüentemente, nos resultados.

Referências

- ALGISI, R. **Filas estocásticas com fonte finita: uma abordagem alternativa**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2018.
- ALMEIDA, M. R. d. **A assistência estudantil como estratégia de combate à evasão e retenção nas universidades federais: um recorte do semiárido potiguar**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2019.
- ARAÚJO, D. F. d. et al. **Análise e avaliação da trajetória de estudantes de graduação baseadas em modelagem por cadeias de Markov**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2019.
- ARNOLD, K. E. Signals: Applying academic analytics. **Educause Quarterly**, ERIC, v. 33, n. 1, p. n1, 2010.
- ASKARI, M. Y. Competing strategies to balance the budgets of publicly funded higher education institutions. **Interchange**, Springer, v. 48, n. 4, p. 377–386, 2017.
- BACH, D. S. et al. Um estudo sobre os desafios dos ambientes de simulação de redes veiculares wave. Universidade Federal de Santa Catarina, 2018.
- BANKS, J.; II, J. S. C.; BARRY, L.; NICOL, D. M. **Discrete-event system simulation fourth edition**. [S.l.]: Pearson, 2005.
- BERENS, J.; SCHNEIDER, K.; GÖRTZ, S.; OSTER, S.; BURGHOFF, J. Early detection of students at risk—predicting student dropouts using administrative student data and machine learning methods. *Journal of Educational Data Mining*, 2019.
- BERNARDO, A.; CERVERO, A.; ESTEBAN, M.; TUERO, E.; CASANOVA, J. R.; ALMEIDA, L. S. Freshmen program withdrawal: Types and recommendations. **Frontiers in psychology**, Frontiers Media SA, v. 8, p. 1544, 2017.
- BIRTA, L. G.; ARBEZ, G. **Modelling and simulation**. [S.l.]: Springer, 2013.
- BOSSSEL, H. **Modeling and simulation**. [S.l.]: AK Peters/CRC Press, 2018.
- BRASIL. Documento orientador para a superação da evasão e retenção na rede federal de educação profissional, científica e tecnológica. **Ministerio da Educação**, 2014.
- BRIGAS, C. J. Modeling and simulation in an educational context: Teaching and learning sciences. **Research in Social Sciences and Technology**, v. 4, n. 2, p. 1–12, 2019.
- BROGNOLI, E.; PAGNAN, J. M.; LONGEN, W. C. Saúde mental dos trabalhadores da educação. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 3, n. 5, p. 11521–11530, 2020.
- CAICEDO, R. O.; ATUESTA, S. B.; CAICEDO, J. P. Análisis de la retención de estudiantes de ingeniería basado en la pérdida consecutiva de una misma asignatura. un enfoque de cadenas de markov. **Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias**, Universidad de Carabobo, v. 5, n. 16, p. 7–18, 2016.
- CASSANDRAS, C. G.; LAFORTUNE, S. **Introduction to discrete event systems**. [S.l.]: Springer, 2008.

CASTRO, P. A. de; SOUZA, T. S.; SÁ, S. Evasão no ensino superior: mapeamento de cursos licenciaturas da universidade federal de goiás. **Revista EDaPECI**, Universidade Federal de Sergipe, v. 18, n. 3, p. 45–60, 2018.

CAVIQUE, L.; POMBINHO, P.; TALLÓN-BALLESTEROS, A. J.; CORREIA, L. Data pre-processing and data generation in the student flow case study. In: SPRINGER. **International Conference on Intelligent Data Engineering and Automated Learning**. [S.l.], 2020. p. 35–43.

COIMBRA, C. L.; SILVA, L. B.; COSTA, N. C. D. A evasão na educação superior: definições e trajetórias. **Educação e Pesquisa**, SciELO Brasil, v. 47, 2021.

DAVOK, D. F.; BERNARD, R. P. Avaliação dos índices de evasão nos cursos de graduação da universidade do estado de santa catarina-udesc. **Avaliação: Revista da Avaliação da Educação Superior (Campinas)**, SciELO Brasil, v. 21, p. 503–522, 2016.

FERREIRA, V. B. Aplicação do método de monte carlo na resolução de problemas de integração e cálculo de áreas. 2020.

GONÇALVES, E. D. S. **As propagandas do ENEM, PROUNI e FIES no processo de ampliação do acesso ao ensino superior**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação, 2020.

GONZÁLEZ-CAMPOS, J. A.; CARVAJAL-MUQUILLAZA, C. M.; ASPEÉ-CHACÓN, J. E. Modelación de la deserción universitaria mediante cadenas de markov. **Uniciencia**, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/deed.es>, v. 34, n. 1, p. 129–146, 2020.

HELAL, M. **A hybrid system dynamics-discrete event simulation approach to simulating the manufacturing enterprise**. [S.l.]: University of Central Florida, 2008.

HLAVATÝ, R.; DÖMEOVÁ, L. Students' progress throughout examination process as a markov chain. **International Education Studies**, ERIC, v. 7, n. 12, p. 20–29, 2014.

INEP. **Metodologia de Cálculo dos indicadores de fluxo da educação superior**. [S.l.]: INEP, Brasília, 2017.

INEP/MEC. **Censo da Educação Superior de 2019**. 2019. Disponível em: <https://download.inep.gov.br/educacao_superior/censo_superior/documentos/2020/Apresentacao_Censo_da_Educacao_Superior_2019.pdf>. Acesso em: fevereiro de 2021.

JIANG, J.; LI, Y.; HONG, S. H.; XU, A.; WANG, K. A time-sensitive networking (tsn) simulation model based on omnet++. In: IEEE. **2018 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)**. [S.l.], 2018. p. 643–648.

KABATHOVA, J.; DRLIK, M. Towards predicting student's dropout in university courses using different machine learning techniques. **Applied Sciences**, MDPI, v. 11, n. 7, p. 3130, 2021.

KEMPER, L.; VORHOFF, G.; WIGGER, B. U. Predicting student dropout: A machine learning approach. **European Journal of Higher Education**, Taylor & Francis, v. 10, n. 1, p. 28–47, 2020.

- LAMERS, J. M. d. S.; SANTOS, B. S. d.; TOASSI, R. F. C. Retenção e evasão no ensino superior público: estudo de caso em um curso noturno de odontologia. **Educação em Revista**, SciELO Brasil, v. 33, 2017.
- LIMA, P.; BISINOTO, C.; MELO, N. S. d.; RABELO, M. Taxas longitudinais de retenção e evasão: uma metodologia para estudo da trajetória dos estudantes na educação superior. **Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação**, SciELO Brasil, v. 27, p. 157–178, 2019.
- LOBO, M. Panorama da evasão no ensino superior brasileiro: aspectos gerais das causas e soluções. **Associação Brasileira de Mantenedoras de Ensino Superior. Cadernos**, v. 25, p. 14, 2012.
- MAKKI, A. A.; SINDI, H. F.; BRDESEE, H.; ALSAGGAF, W.; AL-HAYANI, A.; AL-YOUBI, A. O. Goal programming and mathematical modelling for developing a capacity planning decision support system-based framework in higher education institutions. **Applied Sciences**, MDPI, v. 12, n. 3, p. 1702, 2022.
- MARTINS, A. L. F. et al. Gestão de riscos em processos administrativos em coordenações de curso de graduação: estudo de caso na universidade federal de santa maria. In: **Repositório Digital da UFSM**. [S.l.]: Universidade Federal de Santa Maria, 2019.
- MAT, U. B.; BUNIYAMIN, N.; ARSAD, P. M.; KASSIM, R. An overview of using academic analytics to predict and improve students' achievement: A proposed proactive intelligent intervention. In: **IEEE. 2013 IEEE 5th conference on engineering education (ICEED)**. [S.l.], 2013. p. 126–130.
- MIYAGI, P. E. Introdução a simulação discreta. **São Paulo: USP**, 2006.
- MÓNICO, P. G. **Análise de risco de um projeto de investimento por aplicação do Método de Monte Carlo**. Dissertação (Mestrado) — Instituto Politecnico de Leiria, 2019.
- MOURA, M. Á. P.; PASSOS, G. d. O. A taxa de conclusão de curso da graduação nas universidades federais antes e depois do reuni: as vicissitudes da implementação da política. **Avaliação: Revista da Avaliação da Educação Superior (Campinas)**, SciELO Brasil, v. 24, p. 513–525, 2019.
- NORA, A.; BARLOW, E.; CRISP, G. Student persistence and degree attainment beyond the first year in college. **College student retention: Formula for student success**, v. 3, p. 129–153, 2005.
- NUNES, R. C. Um olhar sobre a evasão de estudantes universitários durante os estudos remotos provocados pela pandemia do covid-19. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, p. e1410313022–e1410313022, 2021.
- OLIVEIRA, C. V. S. B. de; BEZERRA, D. H. D.; TORRES, G. V. de S. Revisão sistemática da literatura sobre as causas de evasão da educação a distância no brasil. **EmRede-Revista de Educação a Distância**, v. 8, n. 1, p. 1–15, 2021.
- OMNET++. **Simulation Manual OMNeT++ version 5.6.1**. 2020. Disponível em: <<https://doc.omnetpp.org/omnetpp5/manual/>>.

OPAZO, D.; MORENO, S.; ÁLVAREZ-MIRANDA, E.; PEREIRA, J. Analysis of first-year university student dropout through machine learning models: A comparison between universities. **Mathematics**, MDPI, v. 9, n. 20, p. 2599, 2021.

PADILHA, R.; MARTINS, B.; MOSCHIM, E. Discrete event simulation and dynamical systems: a study of art. In: **Proceedings of the 2016 Brazilian Technology Symposium**. [S.l.: s.n.], 2016.

PAIXÃO, J. L. da; LIMA, D. A. C.; FABRIN, F. G.; SANTANA, G. C.; BALDISSERA, L. B.; SILVA, R. N. da. Métodos matemáticos de modelagem e otimização: Teoria e aplicações do método de monte carlo. **Salão do Conhecimento**, v. 7, n. 7, 2021.

PINTO, Â. S. Aplicação da teoria de filas na análise da capacidade operacional de um sistema-estudo caso bca porto novo. **Instituto Superior de Ciências Econômicas e Empresariais. Licenciatura em Contabilidade e Administração**. Mindelo, Portugal, 2011.

PRADO, D. **Teoria das Filas e da Simulação**. [S.l.]: Falconi Editora, 2017. v. 2.

PRESTES, E. M. d. T.; FIALHO, M. G. D. Evasão na educação superior e gestão institucional: o caso da universidade federal da paraíba. **Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação**, SciELO Brasil, v. 26, p. 869–889, 2018.

RAMADGE, P. J.; WONHAM, W. M. The control of discrete event systems. **Proceedings of the IEEE**, IEEE, v. 77, n. 1, p. 81–98, 1989.

RANGEL, F. d. O.; STOCO, S.; SILVA, J. A. d.; TESTONI, L. A.; BROCKINGTON, J. G. d. O.; CERICATO, I. L. Evasão ou mobilidade: conceito e realidade em uma licenciatura. **Ciência & Educação (Bauru)**, SciELO Brasil, v. 25, p. 25–42, 2019.

RIBEIRO, J. C. A.; ROSA, J. V. A. da; SOUZA, G. A. P.; HARAGUCHI, S. K.; SILVA, A. A. Evasão e retenção na perspectiva de alunos do curso de licenciatura em química. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 6, n. 2, p. 609–618, 2019.

RODRIGUES, L. S.; GONTIJO, T. L.; CAVALCANTE, R. B.; OLIVEIRA, P. P. d.; DUARTE, S. J. H. A evasão em um curso de especialização em gestão em saúde na modalidade a distância. **Interface-Comunicação, Saúde, Educação**, SciELO Public Health, v. 22, p. 889–901, 2018.

SILVA, D. B. d.; FERRE, A. A. d. O.; GUIMARÃES, P. d. S.; LIMA, R. d.; ESPINDOLA, I. B. Evasão no ensino superior público do brasil: estudo de caso da universidade de são paulo. **Avaliação: Revista da Avaliação da Educação Superior (Campinas)**, SciELO Brasil, v. 27, p. 248–259, 2022.

SILVA, E. R. S.; GONÇALVES, V. M.; CRUZ, D. B. da; REIS, B. M. da C. Gestão dos custos universitários: uma abordagem do custeio baseado em atividades-abc. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC**. [S.l.: s.n.], 2019.

SIRAJ, S.; GUPTA, A.; BADGUJAR, R. Network simulation tools survey. **International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering**, Department of Computer Science and Engineering, PGMCOE Wagholi, Pune, v. 1, n. 4, p. 199–206, 2012.

SOUSA, C. R. d. O.; GOMES, K. R. O.; SILVA, K. C. d. O.; MASCARENHAS, M. D. M.; RODRIGUES, M. T. P.; ANDRADE, J. X.; LEAL, M. A. B. F. Fatores preditores da evasão escolar entre adolescentes com experiência de gravidez. **Cadernos Saúde Coletiva**, SciELO Brasil, v. 26, p. 160–169, 2018.

SOUSA, J. D. A. de; SANTOS, J. F. dos; ALVES, G. Modelagem e simulação do progresso estudantil no ensino superior com sistemas de eventos discretos para gerenciamento de capacidade de turmas extras. In: SBC. **Anais do XXI Workshop em Desempenho de Sistemas Computacionais e de Comunicação**. [S.l.], 2022. p. 25–36.

SOUZA, D. M. Projeto de rede wlan ieee 802.11 n para implementação de voip baseado em algoritmos culturais. 2018.

SOUZA, F. G. da C.; ARAUJO, R. de A. Previsão de evasão e retenção no ensino médio profissional: Uma abordagem baseada em redes neurais. **Revista Semiárido De Visu**, v. 9, n. 1, p. 53–64, 2021.

SOUZA, T. S.; SÁ, S.; CASTRO, P. A. de. Evasão escolar no ensino superior: um estudo qualitativo via mapeamento de licenciaturas. **Revista Lusófona de Educação**, v. 44, n. 44, 2019.

TAN, M.; SHAO, P. Prediction of student dropout in e-learning program through the use of machine learning method. **International journal of emerging technologies in learning**, v. 10, n. 1, 2015.

TESSINARI, R. S. **Mapeamento de Equipamentos Ópticos e Modelagem de Redes OTN no Simulador OMNeT++ de acordo com a Recomendação ITU-T G. 798**. [S.l.]: Rodrigo Stange Tessinari, 2009.

VARGAS, A. S. D. **As Políticas Públicas para a Educação Superior no Brasil Pós LDB/96: O ENEM, SISU, PROUNI e FIES e suas (Des) Continuidades**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, 2021.

WAINER, G. A. **Discrete-event modeling and simulation: a practitioner's approach**. [S.l.]: CRC press, 2017.

WEHRLE, K.; GÜNES, M.; GROSS, J. **Modeling and tools for network simulation**. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2010.

WONG, Y. Y. Academic analytics: a meta-analysis of its applications in higher education. **International Journal of Services and Standards**, Inderscience Publishers (IEL), v. 11, n. 2, p. 176–192, 2016.