

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO - UFOP**  
**ESCOLA DE MINAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, ADMINISTRAÇÃO E**  
**ECONOMIA**

DAVID MARTINS DI JORGI FIUZA

APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO PARA REDUÇÃO DO TEMPO DE ESPERA NA FILA  
DE VACINAÇÃO CONTRA A COVID-19

OURO PRETO

2022

DAVID MARTINS DI JORGI FIUZA

APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO PARA REDUÇÃO DO TEMPO DE ESPERA NA FILA  
DE VACINAÇÃO CONTRA A COVID-19

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Aloísio de Castro Gomes Júnior

OURO PRETO

2022

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

F565a Fiuza, David Martins di Jorgi.  
Aplicação da simulação para redução do tempo de espera na fila de  
vacinação contra a Covid-19. [manuscrito] / David Martins di Jorgi Fiuza. -  
2022.  
49 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Dr. Aloísio de Castro Gomes Júnior.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola  
de Minas. Graduação em Engenharia de Produção .

1. Métodos de simulação. 2. Pesquisa Operacional. 3. Vacinação -  
Covid-19. I. Gomes Júnior, Aloísio de Castro. II. Universidade Federal de  
Ouro Preto. III. Título.

CDU 658.5

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**David Martins Di Jorgi Fiuzza**

### **Aplicação da simulação para redução do tempo de espera na fila de vacinação contra a Covid-19**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Aprovada em 10 de maio de 2022

#### **Membros da banca:**

Doutor Aloísio de Castro Gomes Júnior - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto  
Doutor Helton Cristiano Gomes - Universidade Federal de Ouro Preto  
Doutora Irce Fernandes Gomes Guimarães - Universidade Federal de Ouro Preto

Aloísio de Castro Gomes Júnior, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 10/05/2022



Documento assinado eletronicamente por **Aloísio de Castro Gomes Junior, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 10/05/2022, às 20:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0323094** e o código CRC **EAA81D9A**.

## RESUMO

A simulação pode ser aplicada em tipos variados de sistema, possibilitando uma geração de informações sobre o cenário atual e o cenário com modificações pretendidas. Com isso torna-se capaz de analisar as variáveis que mais impactam no sistema, identificar gargalos e verificar como modificações nesse sistema trazem melhorias ou pioras de indicadores selecionados. Uma das áreas de aplicação da simulação é a área de saúde, onde diversos estudos vêm sendo aplicados com finalidade de estudar o comportamento de sistemas e melhorar a dinâmica operacional de atendimento. Uma área da saúde que possui oportunidades de melhoria operacional é a da imunização por meio de vacinas. A vacinação em massa contra a covid-19 traz um problema atrelado que também pode ser analisado pela simulação: a geração de filas. O presente trabalho buscou evidenciar possíveis reduções de tempo médio de espera na fila do processo de vacinação a partir de alterações nas condições do sistema. Realizando uma análise sobre a simulação do cenário atual, foram propostos três novos cenários, que foram analisados e comparados entre si e com o cenário base. Dois cenários trouxeram uma redução significativa no tempo médio de espera na fila.

**Palavras-chave:** Simulação; Pesquisa Operacional; Vacinação; Covid-19

## **ABSTRACT**

Simulation can be applied to different types of systems, enabling the generation of information about the current scenario and the scenario with intended modifications. With this, it becomes able to analyze the variables that most impact the system, identify bottlenecks and verify how changes in this system bring improvements or worsening of selected indicators. One of the application areas of simulation is the health area, where several studies have been applied in order to study the behavior of systems and improve the operational dynamics of care. One area of health that has opportunities for operational improvement is immunization through vaccines. Mass vaccination against covid-19 brings a related problem that can also be analyzed through simulation: the generation of queues. This study sought to highlight possible reductions in the average waiting time in the queue for the vaccination process based on changes in the system conditions. Performing an analysis on the simulation of the current scenario, three new scenarios were proposed, which were promoted and compared with each other and with the base scenario. Two scenarios brought about a reduction in the average waiting time in the queue.

**Keywords:** Simulation; Operational Research; Vaccination; Covid-19

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de um processo produtivo baseado na técnica IDEF-SIM	13
Figura 2 - Simbologia utilizada na técnica IDEF-SIM	14
Figura 3 - Elementos básicos de um DCA	15
Figura 4 - Exemplo de um DCA de um pub inglês	15
Figura 5 - Metodologia de simulação	18
Figura 6 - Área de trabalho do software ProModel®	20
Figura 7 - Página de trabalho do software ARENA®	20
Figura 8 - DCA do sistema apresentado	27
Figura 9 - Distribuição de probabilidade da variável “tempo de chegada”	28
Figura 10 - Distribuição de probabilidade da variável “tempo de cadastro”	28
Figura 11 - Distribuição de probabilidade da variável “tempo de vacinação”	29
Figura 12 - Modelo computacional do sistema apresentado	30
Figura 13 - Bloco Create da criação das pessoas que pegaram senha antecipadamente	30
Figura 14 - Bloco Create da criação das pessoas que chegaram no intervalo que compreende o processo de vacinação	31
Figura 15 - Bloco Decide para o direcionamento das entidades	32
Figura 16 - Bloco Hold do processo em questão	33
Figura 17 - Bloco Process relacionado à atividade de cadastro	34
Figura 18 - Bloco Process relacionado à atividade de vacinação	34
Figura 19 - Bloco Record do processo em questão	35
Figura 20 - Bloco Dispose do processo em questão	35
Figura 21 - Configuração do Run Setup para a simulação 0 do sistema	37
Figura 22 - Bloco Resource da simulação 1	39
Figura 23 - Comparação entre os resultados de tempo médio de permanência no sistema e número de pessoas vacinadas das simulações	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados sobre filas para a simulação 0	38
Tabela 2 - Resultados para a simulação 1	40
Tabela 3 - Resultados para a simulação 2	41
Tabela 4 - Resultados para a simulação 3	42
Tabela 5 - Comparação entre os resultados das simulações	43

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURA

ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
DCA	Diagrama de Ciclo de Atividades
EUA	Estados Unidos da América
IDEF-SIM	<i>Integrated Definition Methods – Simulation</i>
OMS	Organização Mundial da Saúde
SARS-CoV-2	<i>Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2</i>
UBS	Unidade Básica de Saúde

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>5</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b>	<b>6</b>
<b>LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURA</b>	<b>7</b>
<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>9</b>
<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>12</b>
<b>2.1. Pesquisa Operacional</b>	<b>12</b>
<b>2.2. Simulação</b>	<b>16</b>
2.2.1. Definição	16
2.2.2. Terminologia	16
2.2.3. Etapas de um estudo de simulação	17
2.2.4. Vantagens e desvantagens	18
2.2.5. Principais aplicações da simulação	19
2.2.6. Softwares de simulação	19
<b>2.3. Aplicações de simulação na área de saúde</b>	<b>21</b>
<b>METODOLOGIA</b>	<b>25</b>
<b>3.1. Cenário estudado</b>	<b>25</b>
<b>3.2. Concepção</b>	<b>26</b>
<b>3.3. Implementação</b>	<b>29</b>
<b>3.4. Análise dos resultados</b>	<b>36</b>
<b>3.5. Cuidados Éticos</b>	<b>45</b>
<b>CONCLUSÃO</b>	<b>46</b>
<b>REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO</b>	<b>47</b>

## Capítulo I

### INTRODUÇÃO

No fim de 2019, uma nova variável altamente contagiosa do coronavírus (SARS-CoV-2) foi identificada em Wuhan, China. O vírus se espalha pelo ar e adere a superfícies, contaminando um ser humano ao entrar em contato com olhos, boca ou vias respiratórias na maioria dos casos. Uma parcela dos portadores adquirem uma síndrome respiratória aguda grave, que pode levar à morte, enquanto outros desenvolvem sintomas similares aos da gripe ou sequer apresentam qualquer tipo de sintoma. Em poucos meses o vírus se espalhou pelo mundo, fazendo com que a OMS declarasse pandemia mundial em 11 de março de 2020, quando o mundo atingiu o número de 126.721 casos e 4.613 mortes confirmadas (OUR WORLD IN DATA, 2021).

No Brasil, o primeiro caso de coronavírus ocorreu em São Paulo, onde um homem com histórico de viagem para a Itália apresentou os sintomas da doença, e obteve a confirmação em 26 de fevereiro de 2020 pelo Ministério da Saúde. O vírus se espalhou rapidamente pelo país chegando a marca de 1 milhão de casos em 19 de junho de 2020, menos de 4 meses após o primeiro caso.

Em virtude desse cenário, cientistas e pesquisadores de todo o mundo se dispuseram a encontrar a fórmula para uma solução para que a imunização fosse feita no menor tempo possível, a fim de frear o avanço da contaminação. Com tantos esforços focados na produção de imunizantes, a vacina contra o SARS-CoV-2 se tornou a mais rápida a ser desenvolvida na história da humanidade. No fim do ano de 2020, diversas fabricantes apresentaram ao mercado seus imunizantes que foram produzidos e distribuídos ao redor do mundo (RIBEIRO, 2021).

O primeiro país a começar a vacinar sua população contra o coronavírus foi o Reino Unido em 8 de dezembro de 2020, seguido por Estados Unidos, Canadá e União Europeia. No Brasil, a primeira vacina aplicada aconteceu em 17 de janeiro de 2021, o imunizante aplicado inicialmente foi o CoronaVac, desenvolvido pelo Instituto Butantan. Logo após, vacinas de diversas farmacêuticas como AstraZeneca, Pfizer e Janssen foram aprovadas pela ANVISA e utilizadas no processo de vacinação brasileiro, que atingiu 14 milhões de doses aplicadas em apenas dois meses (FELIX, 2021). Através do Plano Nacional de Operacionalização da Vacinação Contra a Covid-19, criado pelo Ministério da Saúde e iniciado em 18 de janeiro de 2021, a

população foi dividida em grupos de acordo com sua prioridade, iniciando pelas pessoas com mais idade ou que possuam algum tipo de comorbidade e finalizando pelas mais jovens e sem complicações de saúde. Os grupos, então, são direcionados a uma unidade básica de saúde (UBS) ou ponto de vacinação para realizar o processo de imunização (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2022).

Com uma população inteira a vacinar, filas são formadas nos pontos de vacinação e variam de tamanho de acordo com a quantidade de pessoas que englobam o grupo a ser vacinado no ponto em específico, o planejamento do processo e a estrutura disposta em determinada cidade.

O processo de formação de filas pode ser visto na rotina de todos, seja indo a uma padaria, caixa de banco, ao comprar um bilhete no cinema ou então uma peça esperando ser processada em uma máquina e um carro aguardando sua vez em um semáforo.

Com a necessidade de um estudo aprofundado sobre a formação e gerenciamento de fila, a utilização de uma ferramenta de estudo é recomendada. Alguns métodos utilizados para o estudo de filas são a teoria das filas e a simulação computacional. Para a criação de um modelo experimental, a simulação computacional é a técnica mais adequada.

Segundo Banks *et al.* (2004), a simulação é um método que possibilita, a partir do uso de um modelo hipotético de um sistema real, estudar e prever o impacto que mudanças causariam, bem como analisar e responder questões importantes sobre esse sistema e suas variáveis. Desta forma, são economizados recursos ao não parar um sistema para serem feitos testes de alterações potenciais e é gerado um maior conhecimento sobre o processo como um todo, auxiliando na tomada de decisões.

Desta forma, o principal objetivo deste trabalho é propor alternativas para melhorar a dinâmica operacional, buscando reduzir o tempo de fila do processo de vacinação em uma situação pandêmica de uma UBS localizada no interior do estado do Rio de Janeiro, utilizando a simulação computacional.

Os objetivos específicos são: (i) desenvolver um modelo computacional, usando o software ARENA, para entender melhor a dinâmica do processo de vacinação contra a Covid-19; (ii) analisar, através da proposição de cenários alternativos, possíveis melhoras no processo de vacinação.

A proposta deste trabalho é justificada pela necessidade da redução do número de pessoas na fila e diminuição no tempo médio de espera no processo de imunização em momentos de crise, a fim de vacinar o maior número de pessoas, no menor tempo possível com os recursos que estão disponíveis na localização supracitada. Sabe-se que um tempo alto de espera na fila gera cansaço às pessoas que aguardam, e estas poderiam estar aproveitando esse tempo para outros afazeres pessoais.

Com o uso da simulação, é possível aplicar alterações em variáveis de um modelo hipotético baseado na realidade, testar novos cenários, fazer a comparação entre o desempenho de sistemas, identificar a utilização da capacidade instalada e analisar qual seria o cenário mais adequado para o sistema em questão. Tudo isso com simulações que duram um intervalo de tempo muito menor que testes no sistema real, economizando assim tempo e recurso financeiro.

## Capítulo II

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

É de interesse alcançar neste capítulo a exposição das contribuições teóricas acerca da Pesquisa Operacional e simulação, por consequência abordando os principais conceitos, tópicos e pesquisadores da área. Isso resultará em um maior embasamento teórico sobre o assunto em destaque.

A seção 2.1 trata da Pesquisa Operacional e suas aplicações, enquanto a seção 2.2 discute os conceitos da simulação, suas etapas, terminologias, vantagens, desvantagens, principais aplicações e softwares. Por fim, a seção 2.3 trata das aplicações da simulação especificamente na área da saúde.

#### **2.1. Pesquisa Operacional**

De acordo com Taha (2008), a pesquisa operacional (PO) teve suas atividades iniciadas na Inglaterra no período da Segunda Guerra Mundial, pela necessidade de uma equipe de cientistas de tomar decisões com base científica para resolução de problemas estratégicos.

Como o próprio nome indica, a pesquisa operacional envolve “pesquisa sobre operações”. Portanto, a pesquisa operacional é aplicada a problemas envolvendo como conduzir e coordenar as operações (isto é, as atividades) em uma organização. A natureza das organizações é essencialmente secundária e, de fato, a PO tem sido largamente aplicada em áreas tão distintas como manufatura, transportes, construção, telecomunicações, planejamento financeiro, assistência médica, militar e serviços públicos, somente para citar algumas. Portanto a gama de aplicações é excepcionalmente grande (HILLIER e LIEBERMAN, 2013, p. 2).

A PO ajuda o tomador de decisões, por meio de técnicas de modelagem matemática e algoritmos computacionais, a analisar diferentes aspectos e situações de um problema de grande complexidade, dessa forma, decisões mais efetivas são tomadas e constroem-se sistemas mais efetivos (SOBRAPO, 2021).

As áreas de pesquisa operacional são divididas em métodos determinísticos e métodos estocásticos. Dentre os métodos determinísticos pode-se citar a programação linear ou não linear, programação em redes e programação binária e inteira. Dentre os estocásticos temos a simulação e teoria das filas. Além dessas, existem outras técnicas como teoria dos jogos, inteligência artificial e computacional, heurística e meta-heurística e análise envoltória de dados.

Uma técnica necessária para qualquer estudo com foco em PO é a modelagem. O processo de modelagem caracteriza a representação de um sistema real, considerando apenas as variáveis que afetam diretamente o problema estudado. Deve ser uma simplificação da realidade, mas detalhado o suficiente para que conclusões sejam tiradas sobre o sistema real (BANKS *et al.*, 2004).

Um modelo é, assim, uma abstração da realidade, que se aproxima do verdadeiro comportamento do sistema, mas sempre mais simples que o sistema real. Por outro lado, se o modelo construído apresenta uma complexidade maior que a do próprio sistema, não temos um modelo, mas sim um problema. Isso porque a intenção da modelagem é capturar o que realmente importa no sistema para a finalidade em questão (CHWIF e MEDINA, 2015, p. 3)

Existem diversas técnicas de modelagem, porém algumas têm foco em simulação. Aqui serão apresentadas duas técnicas de modelagem: o IDEF-SIM (*Integrated Definition Methods – Simulation*) e o Diagrama Ciclo de Atividade (DCA).

Leal et. al. (2009), desenvolvem uma técnica de modelagem conceitual nomeada de *Integrated Definition Methods – Simulation* ou IDEF-SIM. Esta ferramenta permite a elaboração de modelos conceituais com informações úteis ao modelo computacional, ao adaptar elementos de outras técnicas de modelagem (IDEF0 e IDEF3). A técnica também facilita o entendimento do projeto, ao permitir a documentação de modelos computacionais. A Figura 1 apresenta um exemplo de um processo produtivo baseado na técnica IDEF-SIM. A Figura 2 apresenta todos elementos e a simbologia utilizada para construção de um modelo seguindo a técnica de modelagem IDEF-SIM.

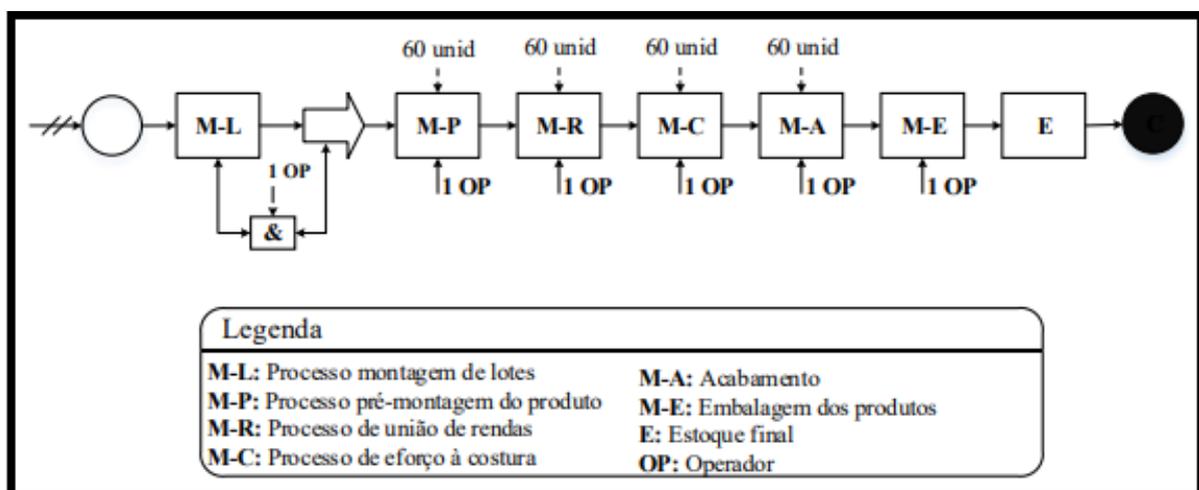


Figura 1 - Exemplo de um processo produtivo baseado na técnica IDEF-SIM

Fonte: Correia e Nascimento (2016)

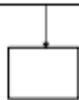
Elementos	Simbologia	Técnica de origem	
Entidade		IDEF3 (modo descrição das transições)	
Funções		IDEF0	
Fluxo da entidade		IDEF0 e IDEF3	
Recursos		IDEF0	
Controles		IDEF0	
Regras para fluxos paralelos e/ou alternativos	 &	Regra E	IDEF3
	 X	Regra OU	
	 O	Regra E/OU	
Movimentação		Fluxograma	
Informação explicativa		IDEF0 e IDEF3	
Fluxo de entrada no sistema modelado			
Ponto final do sistema			
Conexão com outra figura			

Figura 2 - Simbologia utilizada na técnica IDEF-SIM

Fonte: Leal et. al. (2009)

Santos et al. (2018), aplicaram um estudo em um posto de saúde, utilizando a técnica IDEF-SIM para a construção do mapa do processo. Com este diagrama, foi elaborado um modelo de simulação que indicou que o gargalo do sistema causa baixo número de atendimentos. Com isto, foi proposta a contratação de mais um especialista médico para que o número de atendimentos seja aumentado. Além disso, o aumento do número de atendimentos por dia em regime especial foi considerado outra saída viável para o problema em questão. Ao simular a proposta, obteve-se a redução do tamanho da fila de 120 pacientes para pouco mais do que 20 pacientes, em um mês de teste.

Outra técnica utilizada para modelagem conceitual de sistemas com ênfase em simulação, é o Diagrama Ciclo de Atividades (DCA). Segundo Chwif e Medina (2015), o DCA é uma técnica de modelagem das interações entre forças que pertencem a um sistema, com grande utilidade em sistemas que apresentam fortes características de formação de filas. Apenas dois símbolos são utilizados nessa

ferramenta: uma circunferência, a qual representa uma fila, e um retângulo, que representa uma atividade. As filas e atividades devem estar dispostas alternadamente no modelo. A Figura 3 ilustra os elementos citados anteriormente.

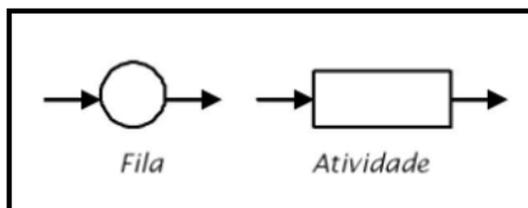


Figura 3 - Elementos básicos de um DCA

Fonte: Chwif e Medina (2015)

No DCA, a entidade é definida como um elemento que retém sua identidade ao longo do sistema, podendo assim participar de alguma atividade ou aguardando em uma fila. O tempo de espera em uma fila está intrinsecamente ligado aos tempos da atividade imediatamente anterior e da subsequente (Chwif e Medina, 2015).

A Figura 4 traz um exemplo de um DCA de um processo dentro de um pub inglês. As entidades são os clientes, copos e garçõnete. As atividades do sistema são beber (clientes e copos participam) e encher o copo (todas entidades participam).

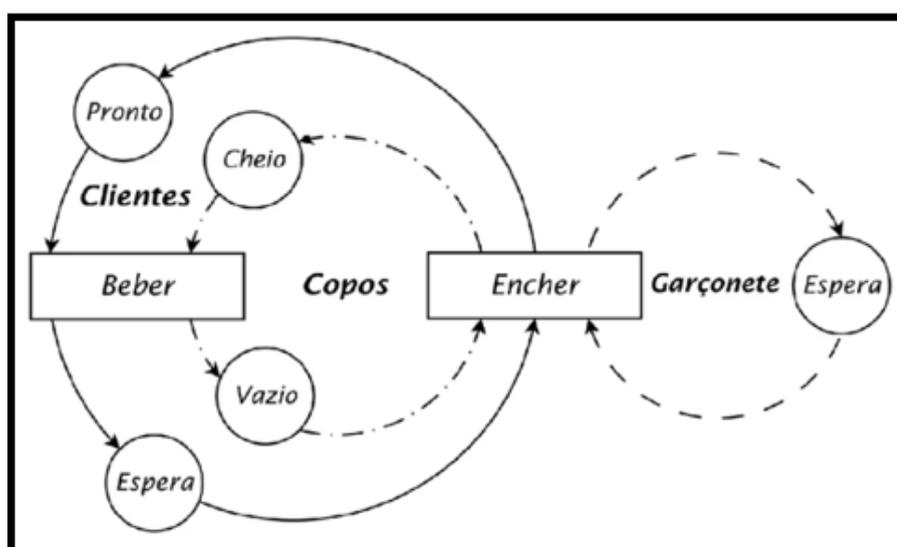


Figura 4 - Exemplo de um DCA de um pub inglês

Fonte: Chwif e Medina (2015)

## 2.2. Simulação

### 2.2.1. Definição

Para Kelton, Sadowski e Sturrock (2006), simulação se refere a uma gama de métodos e aplicações que tentam imitar as condições e o comportamento de um sistema real, normalmente utilizando um computador com software apropriado. Logo, a popularização na utilização da simulação está relacionada a facilidade no uso e na evolução dos hardwares e softwares ao longo do tempo, em união a interfaces gráficas simples e o uso da animação do sistema (FREITAS FILHO, 2008).

A simulação de eventos discretos descreve uma rede de filas inter-relacionadas, de forma direta ou indireta, onde uma entidade chega e aguarda em uma fila caso seja necessário e em seguida realiza uma ou mais atividades antes de deixar o sistema (TAHA, 2008).

### 2.2.2. Terminologia

Segundo Miyagi (2006), certos termos são definidos para que se possa entender e analisar um sistema, estes são:

- Atividades: estão relacionadas à uma ação que ocorre em um sistema.
- Fila: agrupamento de entidades aguardando a realização de uma atividade. Normalmente causadas por algum tipo de limitação no recurso subsequente.
- Entidades: são os componentes do sistema que interagem entre si e com os recursos de forma a realizar uma atividade/objetivo; é o objeto de interesse do sistema.
  
- Atributo: é uma propriedade relacionada à entidade.
- Estado: condição apresentada por objetos do sistema em um dado instante de tempo.
- Eventos: acontecimento que causa mudança de estado do sistema. Podem ser programados ou repentinos.
- Recursos: são elementos estáticos no sistema, utilizados pelas entidades de forma a realizar uma atividade.
- Sistema: conjunto de entidades e atividades/processos que interagem entre si em prol de um objetivo.

### 2.2.3. Etapas de um estudo de simulação

Para Chwif e Medina (2015), o estudo de simulação pode ser dividido em três grandes etapas: a concepção ou formulação do modelo, a implementação desse modelo e a análise dos resultados obtidos. A Figura 5 demonstra a metodologia de simulação utilizada, englobando as três etapas citadas anteriormente.

Na fase de concepção, o analista deve delimitar o escopo do modelo, suas hipóteses e seu nível de detalhamento. O modelo deve ser representado a partir da utilização de alguma técnica de representação com intuito de criar um modelo conceitual (CHWIF; MEDINA, 2015). A coleta dos dados de entrada também é feita nessa etapa, dessa maneira é possível analisar os tempos de duração relacionados às atividades focais com finalidade de gerar distribuições de probabilidade.

Segundo Chwif e Medina (2015), na fase de implementação, converte-se o modelo conceitual em um modelo computacional através de uma linguagem de simulação e programação convencional ou de um simulador (*software*). Em seguida, os modelos devem ser comparados e deve-se validar computacionalmente, gerando alguns resultados, para observar se o modelo é uma representação da realidade dentro do escopo selecionado.

Na terceira e última fase, a análise dos resultados, temos o modelo experimental pronto para ser utilizado em experimentos de simulação. Com isso, o modelo é rodado diversas vezes com alterações em variáveis e os resultados são registrados, documentados e analisados para gerar conclusões e recomendações sobre o sistema (CHWIF; MEDINA, 2015).

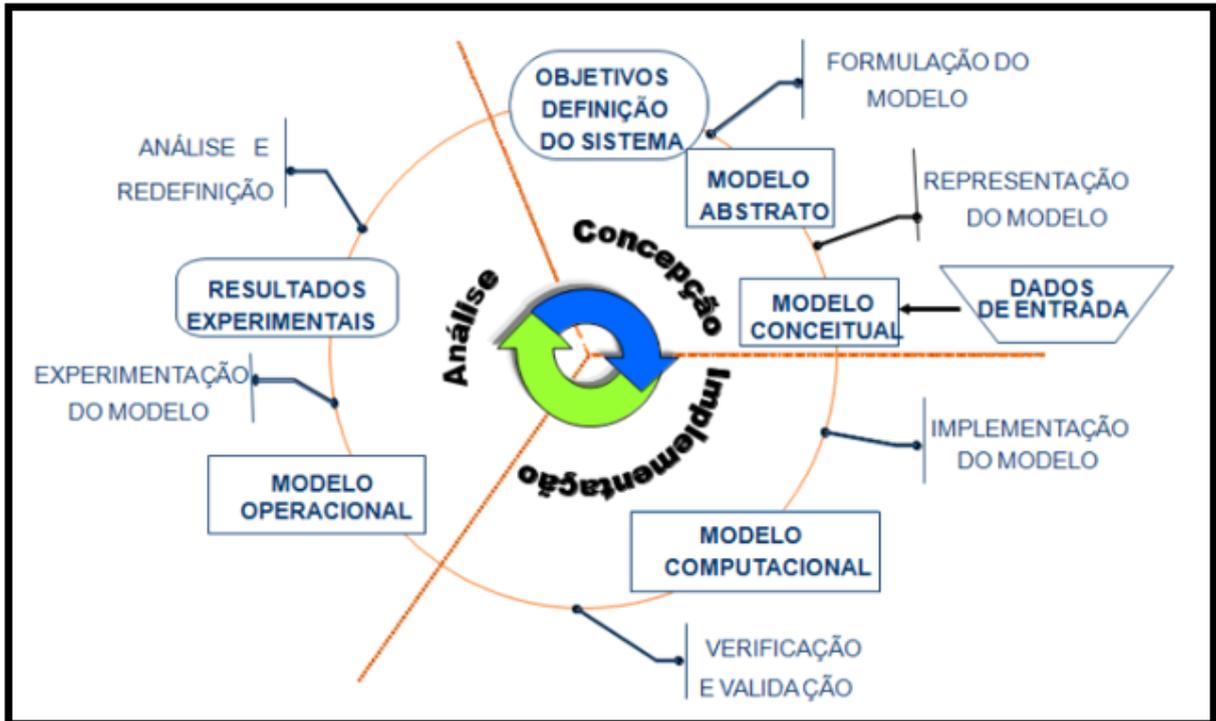


Figura 5 - Metodologia de simulação

Fonte: Chwif (1999)

#### 2.2.4. Vantagens e desvantagens

Dentre as principais vantagens de um estudo de simulação estão a exploração de mudanças em políticas, procedimentos operacionais e decisões de um determinado sistema sem a necessidade de parar as operações no sistema real. Além disso, novos testes de layout podem ser feitos sem a necessidade de adquirir recursos previamente ao teste, testes que levariam dias ou meses podem ser executados em poucos minutos, identificar a interação entre variáveis, fazer comparações entre o desempenho de sistemas, identificação da utilização da capacidade instalada, inicialização de equipamentos e a importância de cada variável para o sistema, responder questões sobre sistemas em processo de criação, dentre diversas outras vantagens (PEGDEN, SHANNON e SADOWSKI, 1995 apud BANKS *et al.*, 2004, p. 23-24; LOBÃO e PORTO, 1999).

Porém, apesar de serem observados diversos pontos positivos na utilização da simulação, assim como apresenta diversas vantagens, a simulação também são observadas desvantagens ao ser utilizada. Neste caso, alguns pontos relevantes são: o treinamento requerido para a construção de modelos de simulação, que demanda tempo e experiência; a difícil interpretação de resultados devido à

aleatoriedade atrelada as variáveis; o consumo de tempo que pode decorrer da construção e análise de um modelo e o uso em casos onde uma solução analítica é possível (PEGDEN, SHANNON e SADOWSKI, 1995 apud BANKS *et al.*, 2004, p. 24).

#### 2.2.5. Principais aplicações da simulação

Segundo Chwif e Medina (2015), o campo de aplicação da simulação abrange diversas áreas que podem ser divididas em dois grandes setores: manufatura e serviços. Alguns exemplos importantes da área de serviços são a aplicação em portos e aeroportos, ao dimensionar um sistema de transporte de bagagens ou cargas; cadeias logísticas, ao determinar a melhor estratégia de estocagem, transporte e distribuição dos produtos; bancos, ao verificar a melhor programação da abertura e fechamento de caixa; call centers, ao designar o número ideal de postos de atendimento em horários específicos; hospitais, uma área em que a simulação vem sendo amplamente utilizada para estudar os sistemas de UTIs e seu comportamento, como o dimensionamento de salas de espera e clínicas de atendimento e supermercados. No setor de manufatura, a simulação pode ser aplicada em sistemas de armazenamento e transporte de materiais, como esteiras transportadoras; linhas de montagem; sistemas de programação da produção; análise de estoques e, também, na logística interna.

#### 2.2.6. Softwares de simulação

Atualmente existem diversos softwares de simulação disponíveis no mercado, sendo os mais utilizados o ProModel® e o ARENA®. Como este trabalho utilizará da versão estudante do Arena para a simulação, será dado foco a este software.

Segundo Baird e Leavy (1994), o ProModel é uma ferramenta de simulação que possibilita a modelagem de qualquer tipo de sistemas de manufatura, desde pequenas manufaturas, até produção em grande escala. É um software desenvolvido para Windows com uma interface gráfica intuitiva e orientada a objeto, assim reduzindo a necessidade de programação. O ProModel permite o trabalho em grupo, ao possibilitar que diferentes partes do modelo sejam implementadas por diferentes grupos e posteriormente possam ser agrupadas em um modelo final. A Figura 6 traz uma captura de tela da área de trabalho do software ProModel®.

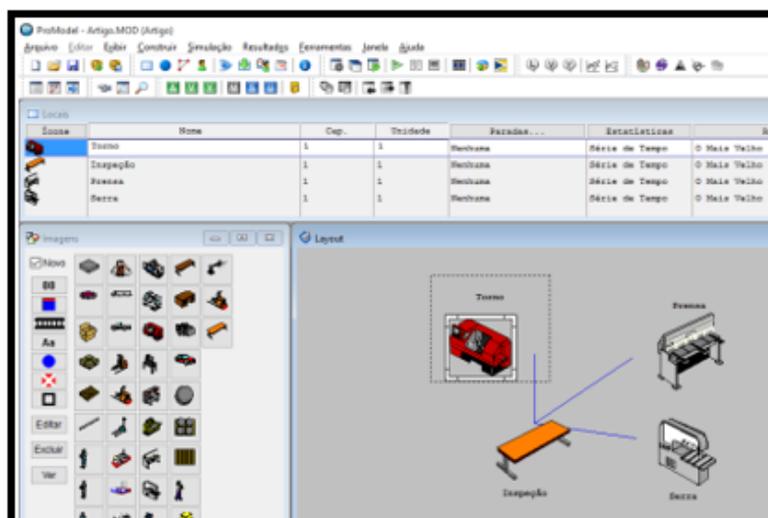


Figura 6 - Área de trabalho do software ProModel®

Fonte: Cardoso; Joaquim Júnior (2016)

Outro *software* de grande usabilidade é o ARENA®. Este é um *software* desenvolvido pela empresa Rockwell Automation que apresenta um sistema de simulação integrado. A partir do *software* é possível fazer a modelagem de um sistema; a análise estatística dos dados, por meio da ferramenta *Input Analyser*; a análise de resultados, por meio da ferramenta *Output Analyser*; análise de processos, por meio da ferramenta *Process Analyser* e otimização de sistemas, via ferramenta *Optquest*. Isso tudo atrelado a animação da simulação, dando ao utilizador a capacidade de analisar profundamente o sistemas e suas variáveis mais influenciadoras. A Figura 7 apresenta a área de trabalho do *software* ARENA®.

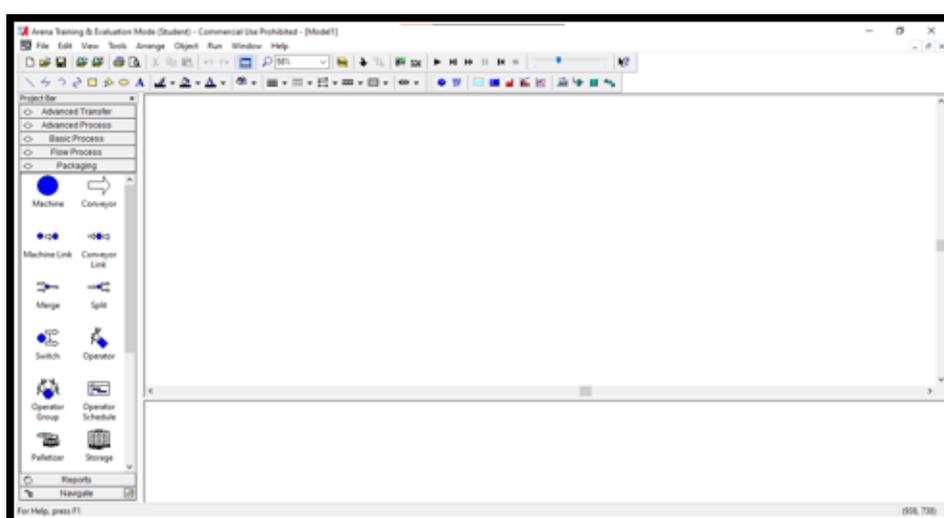


Figura 7 - Página de trabalho do *software* ARENA®

Fonte: Imagem extraída do *software* ARENA® (2021)

Segundo Cardoso; Joaquim Júnior (2016), cada bloco do software ARENA tem uma atividade específica no sistema, assim o conjunto de módulos (ou blocos) são utilizados para construção do modelo computacional. Segue a descrição de alguns módulos básicos, segundo Cardoso; Joaquim Júnior (2016):

Bloco *Create*: representa o início de um processo. Este módulo “cria” as entidades que irão passar pelo sistema. Este bloco pode representar, também, o processo de chegada das entidades no sistema;

Entidades: sofrem transformação e se movimentam pelo sistema;

Bloco *Process*: executa o processamento das entidades, ao designar recursos para efetuar a atividade, também determina tempos de duração das atividades;

Bloco *Decide*: utilizado para apresentar decisões e separações. Consiste em probabilidades ou em condições pré-definidas;

Bloco *Record*: coleta informações em “pontos” definidos pelo usuário do modelo, como por exemplo, contagem de entidades e intervalos de tempo;

Módulo *Dispose*: utilizado como saída da entidade do sistema.

Existem também os módulos de dados, como atributo, entidade, fila, recurso, variável, programação e conjuntos. Porém esses não permitem suas inserções na área de modelagem, sendo utilizados como armazenamento de informações do modelo. Uma informação que pode ser alterada a partir do uso do módulo *Resource* são as quantidades de cada tipo de recurso existente no sistema.

De acordo com Chwif e Medina (2015), dentre as características desejáveis em um *software* estão o custeio, a apresentação de animação conforme a necessidade, bugs e crashes mínimos, fácil utilização e manuseio, módulos de análise dos dados de entrada, de análise estatística dos resultados e de otimização, integração com outros softwares e capacidade de construção de *templates*. Como o *software* Arena possui estas características, ele foi o escolhido para ser utilizado neste trabalho.

### **2.3. Aplicações de simulação na área de saúde**

As aplicações da simulação abrangem diversas áreas e, como citado na seção 2.2.5, vem sendo amplamente utilizada no setor da saúde. A aplicação da simulação, neste caso, tem como objetivo estudar o comportamento de sistemas e suas respectivas filas.

Edward Júnior (2015) apresenta um estudo cujo principal objetivo foi melhorar a dinâmica operacional do processo de atendimento de uma unidade básica de saúde, localizada na região oeste paranaense, por meio de técnicas de simulação de eventos discretos e de otimização. Um número máximo de 50 atendimentos por turno era adotado na UBS estudada, porém, ao atingir esse número a sala de espera ficava com superlotação. Então, por meio do *software OptQuest*, que auxilia na busca pela otimização de um sistema, foi encontrada uma solução ótima, baseada nas condições estipuladas, com um número máximo de 41 atendimentos na UBS estudada durante o turno da manhã.

Para comprovação da melhoria do sistema, dois cenários foram simulados, utilizando como indicadores principais de decisão e análise: a porcentagem de utilização dos funcionários e o tamanho da fila da sala de espera. O primeiro cenário utilizava o número máximo de 50 consultas e o segundo cenário utilizava o valor otimizado de 41 consultas. Foi comprovado que o grau de utilização do médico (95,7%) e da enfermeira (89,5%) eram altos no cenário real, após a restrição de 41 pessoas o grau de utilização da enfermeira e do médico diminuiu para 73,5% e 78,5% respectivamente, um nível considerado adequado.

Gonçalves et al. (2005) demonstram a criação de um modelo de simulação aplicado na gestão de serviços de saúde. Duas técnicas foram utilizadas para auxiliar na tomada de escolha, apresentando melhores alternativas para a utilização dos recursos humanos e da capacidade instalada com objetivo de agilizar o acesso aos serviços de saúde. A primeira técnica foi o TOC na identificação dos fatores limitantes e a segunda, foi a simulação computacional, através do ProModel, para auxiliar no gerenciamento dos gargalos.

O trabalho concluiu que a utilização dessas ferramentas é viável para uma melhor gestão de capacidade de atendimento em hospitais, e auxilia na identificação de possíveis problemas operacionais em um setor gargalo. Esses problemas podem ser gerenciados através de ações de curto prazo, como a aplicação de roteiros alternativos e a utilização de horas extras, ou de médio e longo prazo, como o aumento da capacidade instalada com objetivo de atender a demanda.

Campos et al. (2020) apresentam a utilização de simulação a eventos discretos com finalidade de planejar e otimizar o funcionamento de uma unidade de saúde com foco em atendimento de pacientes com sintomas de síndromes respiratórias durante o período de epidemia de Covid-19. Com o uso de otimização

por meio da simulação, obteve-se uma escala de recursos humanos, com custo inferior ao planejado inicialmente, mas otimizada e com garantia de atendimento aos critérios de qualidade selecionados.

Santos et al. (2021) realizaram um estudo para avaliar o comportamento de um pronto atendimento de um hospital dedicado ao tratamento de pessoas com suspeita de contaminação pelo corona vírus. A partir de um modelo de Simulação Híbrida, foi analisada a ocupação dos postos de trabalho, a formação de filas, a capacidade do pronto atendimento, e o nível de satisfação do paciente com relação ao tempo de espera para ser consultado. Após análise, foi constatada uma baixa ocupação da equipe médica (61%), enquanto em seu pior cenário o hospital prevê a chegada de 400 pacientes por dia e, tendo em vista que a capacidade de atendimento é de 426 pessoas. Após o processo de simulação, foi verificado que o tempo médio de espera para um atendimento é de 16,47 minutos, tempo este menor que a meta estipulada.

Corgozinho et al. (2019) propuseram um simulador por eventos discretos, utilizando o módulo Simpy da linguagem de programação Python, com finalidade de planejar a capacidade de unidades de saúde ao representar operações complexas, as utilizações de recursos e ocorrência de filas. Este sistema foi testado e validado por meio de um estudo de caso, propondo a expansão do turno de trabalho da equipe de ortopedistas em mais 4 horas com foco em reduzir o número de cancelamentos.

Barbosa et al. (2019) apresentam um estudo com foco em analisar os principais problemas em uma Unidade de Pronto Atendimento, por meio de técnicas de Pesquisa Operacional e com auxílio do *software* ARENA. Dois cenários foram simulados, ambos com a mesma jornada de trabalho, porém o primeiro considerava que sempre haveria um médico à disposição e o segundo tentava se aproximar mais da realidade, com condições de falha. Foi observado que a média e o número máximo de pessoas na fila aumentam consideravelmente no segundo cenário. A partir de questionários aplicados, foi constatado que os usuários se sentem satisfeitos com o atendimento inicial, já o atendimento médico recebeu críticas tanto pelo tempo de espera, quanto pelo atendimento em si. A sugestão dada pelos autores foi prover informações à população sobre os serviços prestados nos Postos de Saúde Familiar, com objetivo de reduzir a demanda nas Unidades de Pronto Atendimento.

Oliveira et al. (2018), em seu estudo, analisaram o fluxo de pacientes e a disponibilidade dos recursos em um pronto atendimento, a partir da simulação de eventos discretos. Um cenário alternativo foi proposto, no qual o tempo de permanência dos pacientes foi diminuído significativamente devido a diminuição dos tempos de parada na triagem e na consulta médica, possibilitando assim melhorias no diagnóstico e uma maior compreensão sobre o sistema analisado.

Gabriel et al. (2021) utilizaram a Simulação de Eventos Discretos para analisar os efeitos da pandemia em um ambulatório de endoscopia. A partir de mudanças no layout, com objetivo de evitar o cruzamento de pacientes, e com o aumento do número de macas, os resultados foram significativos, pois mesmo diante das medidas impostas pela COVID-19, as métricas se mostraram melhores que as apresentadas no período anterior à pandemia.

## **Capítulo III**

### **METODOLOGIA**

#### **3.1. Cenário estudado**

O local de estudo é uma UBS em um município no interior do estado do Rio de Janeiro, com cerca de 81.000 habitantes, de acordo com o último censo. A unidade em questão vacina moradores do centro da cidade às segundas-feiras de acordo com o grupo prioritário na agenda de vacinação da cidade.

Ao se direcionarem ao ponto de vacinação, os indivíduos recebem uma senha e aguardam para serem chamados para a próxima etapa. Sendo chamado o número equivalente à senha, o indivíduo é direcionado ao setor de documentação no qual é feita a identificação pessoal, analisando sua idade ou comorbidade, conferindo seus documentos, a fim de checar se sua idade ou comorbidade conferem com o grupo a ser vacinado referente a data designada no calendário e para uma maior gestão dos indicadores de vacinação na cidade. Após essa etapa, são direcionados à sala de vacinação para receber o imunizante, sendo liberados logo em seguida.

O horário de vacinação nos dias que os dados foram coletados era o período de 12 horas às 17 horas, assim compreendendo um intervalo de 5 horas. Porém, a partir das 10 horas da manhã já era permitido ocorrer a retirada de senhas. Além disso, se existissem pessoas com senha após às 17 horas, essas seriam atendidas da mesma forma, conseqüentemente prolongando o atendimento da UBS. Novas senhas não seriam distribuídas após o horário de fechamento (17 horas).

O setor de documentação chamava uma senha por vez, realizando o procedimento de checagem de documentos e cadastro, com a intenção de garantir uma vacinação com maior rastreabilidade. Para evitar aglomerações no interior da UBS, uma restrição foi estabelecida: apenas 4 pessoas poderiam compor a fila do processo de vacinação. Desta forma, enquanto 4 pessoas estivessem esperando na fila da atividade relacionada à vacinação, a atividade de documentação não poderia atender uma pessoa com uma nova senha.

Os recursos disponíveis eram: 1 funcionário para o processo de entrega de senhas, 1 funcionário para o processo de cadastro e documentação e 2 enfermeiras para o processo de vacinação.

Baseando-se nas etapas para um estudo de simulação estabelecidas por Chwif e Medina (2015) e apresentadas na seção 2.2.2 deste trabalho, o estudo foi dividido em três etapas: concepção, implementação e análise dos resultados.

### **3.2. Concepção**

Inicialmente, na etapa de concepção, o sistema é estudado para entender claramente o fluxo de processos e agir sobre o problema em questão. Ao ter um maior conhecimento sobre o sistema, criou-se um modelo conceitual a partir de uma técnica de representação, para ilustrar o sistema e facilitar o entendimento. Após isso, os dados de entrada foram coletados com base nas variáveis de entrada consideradas para o processo, que foram:

- I. Quantidade de pessoas que chegaram antes do horário de abertura;
- II. Momento de chegada por pessoa: Representa o momento em que cada indivíduo retira uma nova senha;
- III. Tempo de cadastro/documentação: Representa o tempo que cada pessoa levou para realizar a atividade de cadastro;
- IV. Tempo de vacinação: Representa o tempo que uma enfermeira levou para realizar o processo de vacinação em cada pessoa;
- V. Quantidade de pessoas que se vacinaram durante todo o processo de vacinação: Variável coletada para validação do modelo.

A técnica de representação utilizada foi o DCA (Diagrama de Ciclo de Atividades), apresentado por Chwif e Medina (2015), sendo, segundo os autores, útil para sistemas com características de geração de filas, de fácil entendimento e de utilização prática. A Figura 8 traz um DCA que ilustra o processo como um todo.

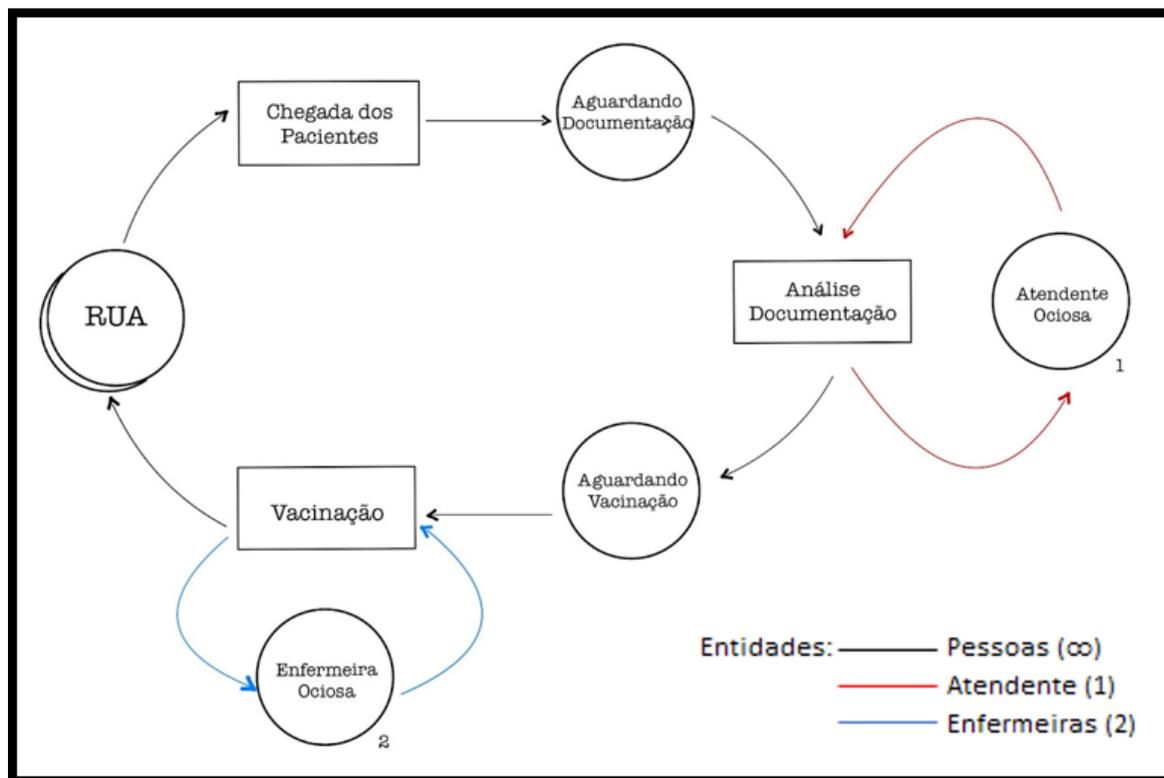


Figura 8 - DCA do sistema apresentado

Fonte: O Autor (2021)

Como pode ser visto no DCA, temos três atividades (chegada de pessoas, cadastro/documentação e vacinação). Os tempos coletados estão relacionados a cada uma dessas atividades. Em detrimento da proibição da permanência no interior da UBS, o tempo de vacinação foi considerado todo o tempo que um paciente permanecia dentro da sala de vacinação.

Os tempos foram coletados com o uso de cronômetros virtuais em aparelhos celulares. Três pessoas se colocaram em cada um dos pontos de interesse a fim de coletar o tempo gasto por cada indivíduo em determinada atividade. O número amostral da atividade de retirada de senhas foi de 109 pessoas, além da média de 114 pessoas (coletados em 4 dias distintos, sendo 124 no primeiro dia, 103 no segundo dia, 97 no terceiro dia e 132 no quarto dia) que receberam senha antes da UBS abrir para a vacinação. O número amostral dos tempos de documentação e vacinação foi de 125 pessoas para cada atividade.

Após a coleta de dados, eles foram inseridos e organizados em um documento de texto para serem tratados no *Input Analyser* com objetivo de se obter as distribuições de probabilidade dos tempos estudados que são apresentados nas

Figuras 9, 10 e 11. Todos os dados foram especificados na unidade de tempo de segundos.

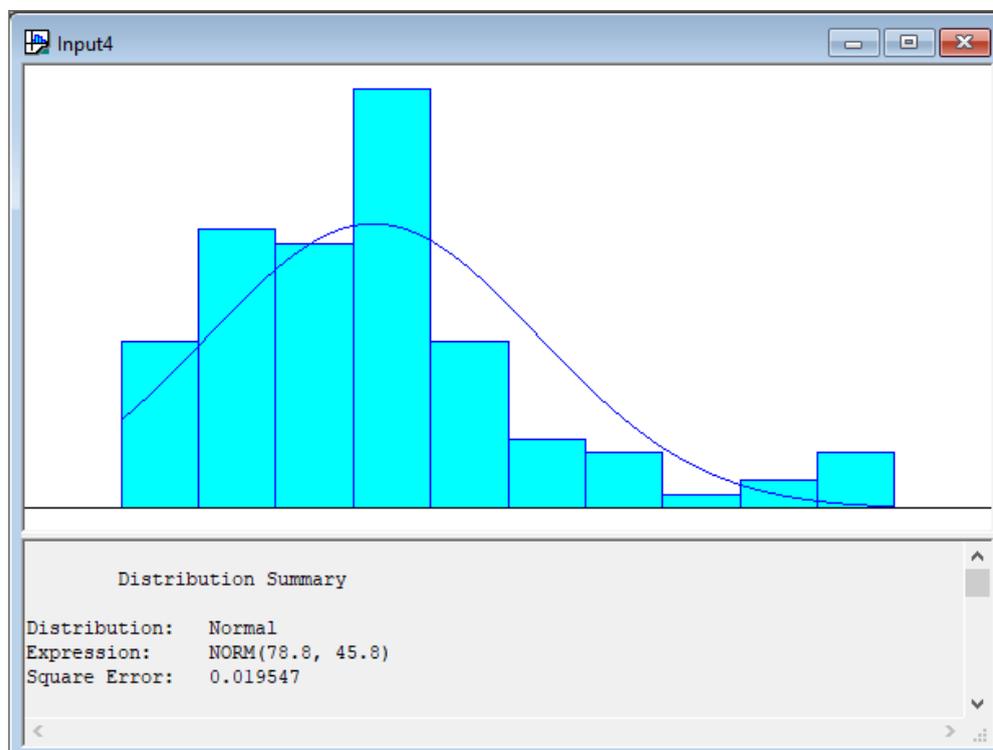


Figura 9 - Distribuição de probabilidade da variável “tempo de chegada”

Fonte: O Autor (2021)

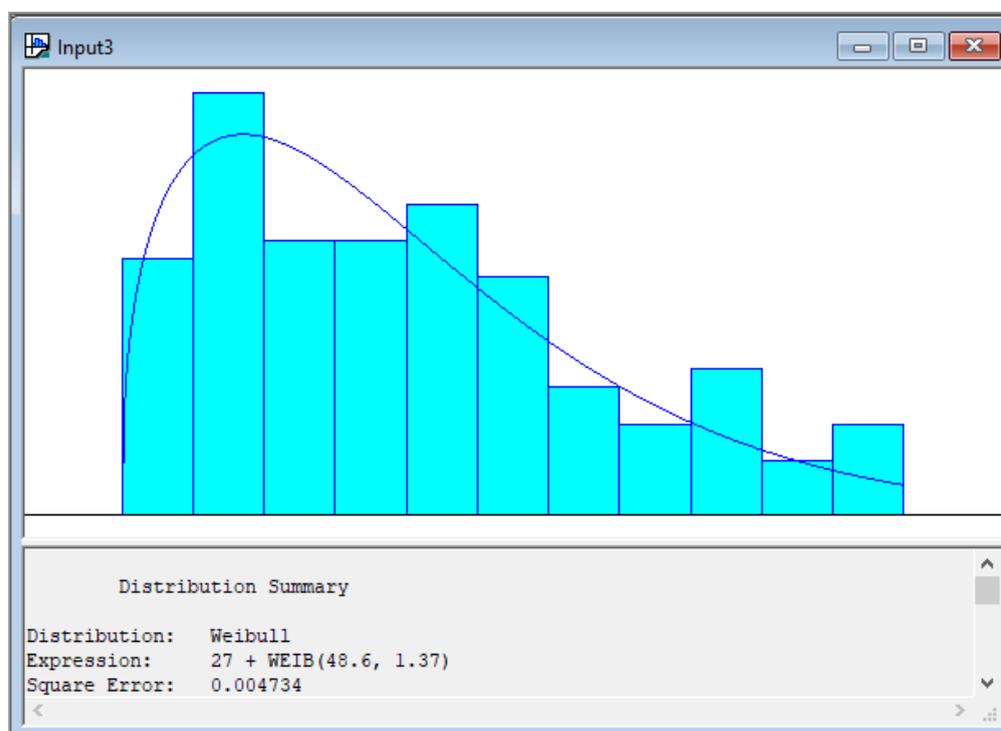


Figura 10 - Distribuição de probabilidade da variável “tempo de cadastro”

Fonte: O Autor (2021)

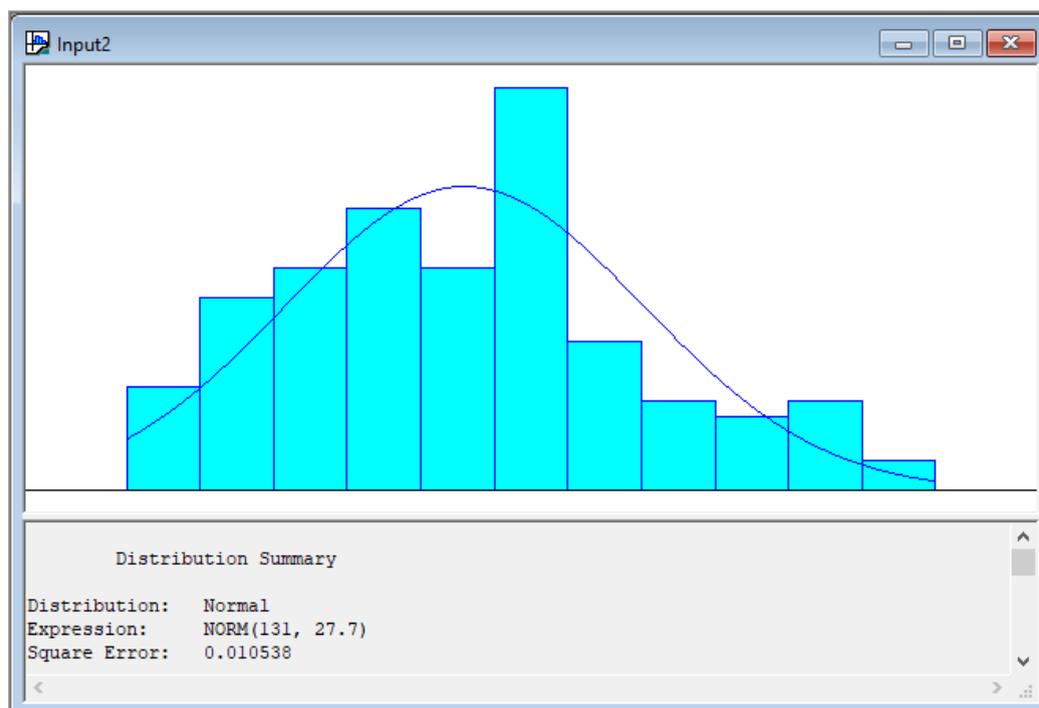


Figura 5 - Distribuição de probabilidade da variável “tempo de vacinação”

Fonte: O Autor (2021)

Com a análise feita pelo Input Analyser, as distribuições de probabilidade foram definidas, sendo: tempo de chegada,  $NORMAL(78,8; 45,8)$ ; tempo de documentação,  $27 + WEIBULL(48,6; 1,37)$ ; e tempo de vacinação,  $NORMAL(131; 27,7)$ , considerando a unidade de tempo de segundos.

### 3.3. Implementação

Na etapa de implementação, utilizou-se o *software* Arena para a criação de um modelo computacional e a inserção das distribuições de probabilidade referente a cada atividade. Com isso, alguns resultados são gerados a fim de comparar o modelo computacional com o sistema real, assim o validando. Na Figura 12, é apresentado o modelo computacional do sistema analisado neste estudo, implementado no *software* ARENA®.

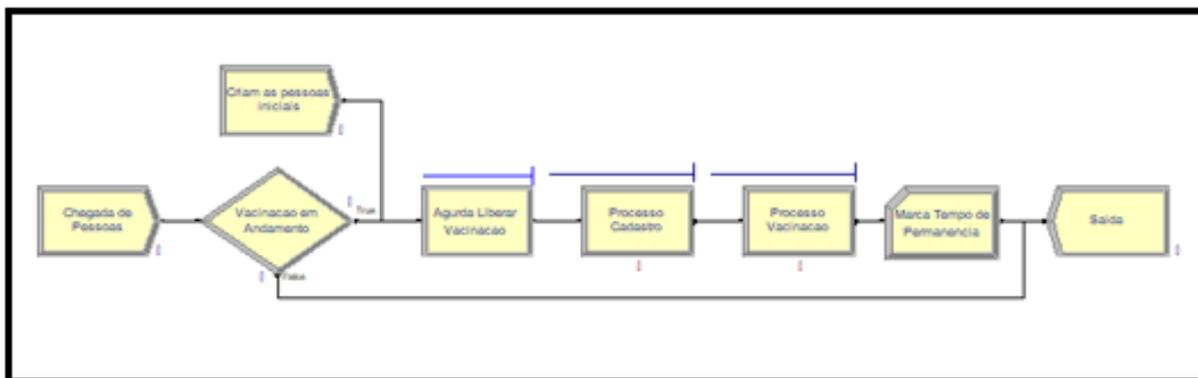


Figura 12 - Modelo computacional do sistema apresentado

Fonte: O Autor (2021)

Inicialmente criaram-se 2 blocos *Create* para criar as entidades “pessoas” na simulação computacional. O primeiro bloco se refere às pessoas que chegaram antes do início do processo de vacinação, pegando uma senha entre 10 e 12 horas do dia de vacinação. Como apresentado na coleta de dados, uma média de 114 pessoas pegaram suas senhas adiantadas em relação ao período de vacinação. Desta forma, o bloco considera uma chegada única de 114 pessoas no intervalo 0 de simulação, conforme apresentado na Figura 13.

Name:		Entity Type:	
Criar as pessoas iniciais		Pessoas	
Time Between Arrivals			
Type:	Value:	Units:	
Random (Expo)	1	Hours	
Entities per Arrival:	Max Arrivals:	First Creation:	
114	1	0.0	

Figura 13 - Bloco *Create* da criação das pessoas que pegaram senha antecipadamente

Fonte: Preenchimento no ARENA conforme dados coletados (2021)

Já o segundo bloco *Create* se refere às pessoas que coletaram a senha após o horário de abertura do processo de vacinação, tempo que compreende o intervalo de 12 às 17 horas. A expressão que indica a distribuição de probabilidade do tempo levado para completar a atividade de chegada/retirada de senhas foi gerada no *Input Analyser* na fase de concepção, sendo  $NORMAL(78,8; 45,8)$ . A unidade base de

tempo utilizada neste estudo de simulação foi a de segundos. O número máximo de entidades criadas nesse bloco foi definido como 300, pois em nenhum dos dias analisados, mais de 414 pessoas foram vacinadas ao total. Já a primeira criação foi definida como em 60 segundos para estabelecer uma diferença mínima de tempo entre a chegada de pessoas no primeiro bloco *Create*. A Figura 14 resume o que foi apresentado de informações sobre este bloco.

The image shows a screenshot of the 'Create' dialog box in the Arena simulation software. The dialog box is titled 'Create' and has a question mark icon and a close button (X) in the top right corner. It contains several input fields and buttons:

- Name:** A dropdown menu with 'Chegada de Pessoas' selected.
- Entity Type:** A dropdown menu with 'Pessoas' selected.
- Time Between Arrivals:** A section containing:
  - Type:** A dropdown menu with 'Expression' selected.
  - Expression:** A text box containing 'NORM( 78.8, 45.'.
  - Units:** A dropdown menu with 'Seconds' selected.
- Entities per Arrival:** A text box containing '1'.
- Max Arrivals:** A text box containing '300'.
- First Creation:** A text box containing '60.0'.
- Buttons:** 'OK', 'Cancel', and 'Help' buttons are located at the bottom of the dialog box.

Figura 14 - Bloco *Create* da criação das pessoas que chegaram no intervalo que compreende o processo de vacinação

Fonte: Preenchimento no ARENA conforme dados coletados (2021)

Como forma de contornar a questão do atendimento continuar após o intervalo de vacinação (após às 17 horas) apenas para pessoas que já possuíam senhas, foi criado um bloco *Decide* após o segundo bloco *Create*. Este bloco, questiona se a vacinação permanece em andamento por meio de uma análise do TNOW (tempo atual de simulação). Caso este tempo seja maior que 5 horas (18 mil segundos), as entidades que forem criadas serão mandadas para a saída imediatamente, não passando pelo processo de cadastro e de vacinação. A Figura 15 ilustra a construção do bloco *Decide* do modelo do sistema estudado no *software* ARENA.

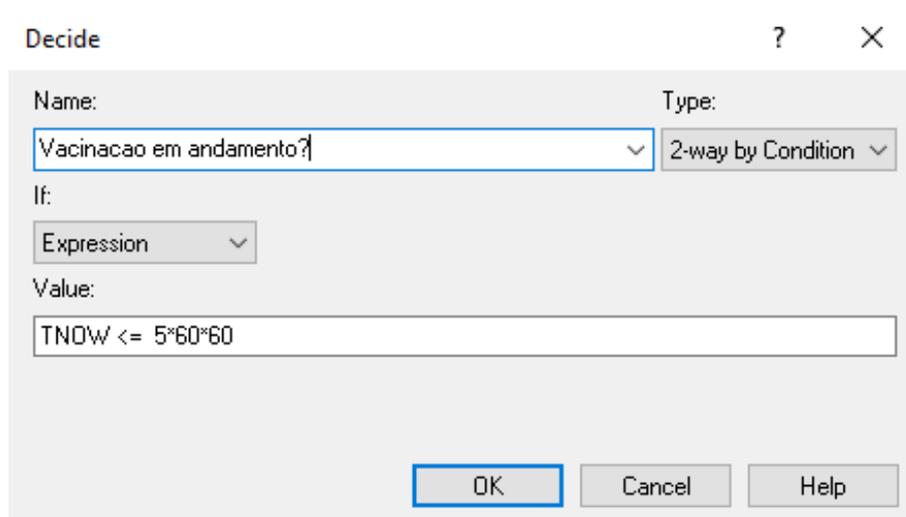


Figura 15 - Bloco *Decide* para o direcionamento das entidades  
 Fonte: Preenchimento no ARENA conforme dados coletados (2021)

Outro bloco criado para contornar uma restrição do problema foi o bloco *Hold*, que, no modo *Scan for Condition* “segura” as entidades caso uma expressão/condição não seja considerada verdadeira. A expressão criada para não permitir que sejam chamadas novas entidades para o processo de cadastro caso o processo de vacinação possua uma fila de 4 pessoas foi: “NQ(Processo Vacinacao.Queue) < 4 && STATE(Func Cadastro) == IDLE\_RES”. Esta expressão indica que se a fila do processo de vacinação for menor que 4 e o estado do funcionário de cadastro seja “livre”, uma entidade pode passar para o processo de cadastro, caso contrário ela ficará parada no bloco *Hold*. Desta forma, este bloco se torna a fila do processo de cadastro, pois não permite que entidades sejam enviadas ao processo caso seu recurso (funcionário de cadastro) esteja ocupado, sendo então configurado como *Queue*, que significa “fila”. O bloco *Hold* e a expressão utilizada são apresentados na Figura 16.

Hold

Name: Agurda Liberar Vacinacao

Type: Scan for Condition

Condition: NQ(Processo Vacinacao.Queue) < 4 && STATE(Func Cada

Queue Type: Queue

Queue Name: Agurda Liberar Vacinacao.Qu

OK Cancel Help

Figura 16 - Bloco *Hold* do processo em questão

Fonte: Preenchimento no ARENA conforme dados coletados (2021)

Em seguida, os dois blocos *Process* são criados, um relacionado à atividade de cadastro e outro relacionado à atividade de vacinação. Neles, os recursos disponíveis para cada atividade são registrados, sendo um funcionário para cadastro e duas enfermeiras para vacinação. Além disso, são registradas as distribuições de probabilidade do tempo relacionado a cada atividade, que foram obtidos a partir do uso da ferramenta *Input Analyser* na fase de concepção, sendo: tempo de documentação segue a distribuição de  $27 + \text{WEIBULL}(48,6; 1,37)$  e tempo de vacinação segue a distribuição  $\text{NORMAL}(131; 27,7)$ , ambos em unidade de tempo de segundos. Nas Figuras 17 e 18, as construções dos blocos *Process* são apresentadas.

The screenshot shows the 'Process' dialog box with the following settings:

- Name:** Processo Cadastro
- Type:** Standard
- Logic:**
  - Action:** Seize Delay Release
  - Priority:** Medium(2)
  - Resources:** Resource, Func Cadastro, 1
- Delay Type:** Expression
- Units:** Seconds
- Allocation:** Value Added
- Expression:** 27 + WEIB( 48.6 , 1.37 )
- Report Statistics

Figura 17 - Bloco *Process* relacionado à atividade de cadastro  
 Fonte: Preenchimento no ARENA conforme dados coletados (2021)

The screenshot shows the 'Process' dialog box with the following settings:

- Name:** Processo Vacinacão
- Type:** Standard
- Logic:**
  - Action:** Seize Delay Release
  - Priority:** Medium(2)
  - Resources:** Resource, Enfermeira, 1
- Delay Type:** Normal
- Units:** Seconds
- Allocation:** Value Added
- Value:(Mean):** 131
- Std Dev:** 27.7
- Report Statistics

Figura 18 - Bloco *Process* relacionado à atividade de vacinação  
 Fonte: Preenchimento no ARENA conforme dados coletados (2021)

Com finalidade de registrar o número de pessoas vacinadas na simulação feita e o tempo de permanência no sistema de cada uma das entidades, um bloco *Record* foi criado após o processo de vacinação. Para isso, 2 expressões foram criadas dentro do bloco, uma para cada um dos registros objetivados. A Figura 19 apresenta o bloco *Record* e suas expressões.

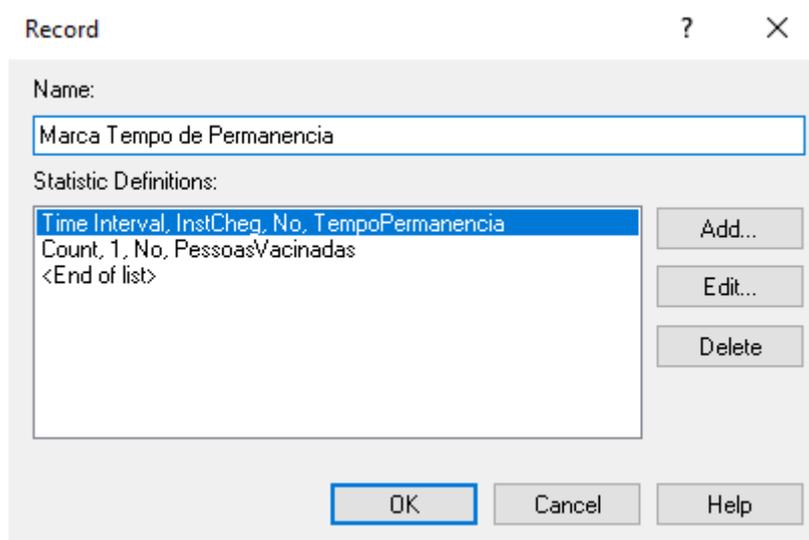


Figura 19 - Bloco *Record* do processo em questão

Fonte: Preenchimento no ARENA conforme dados coletados (2021)

Por fim, é criado um bloco *Dispose* para representar a saída do sistema. Este é um bloco simples que retira as entidades do sistema, reportando informações como o número total de pessoas que deixaram o sistema. Sua formatação é apresentada na Figura 20.

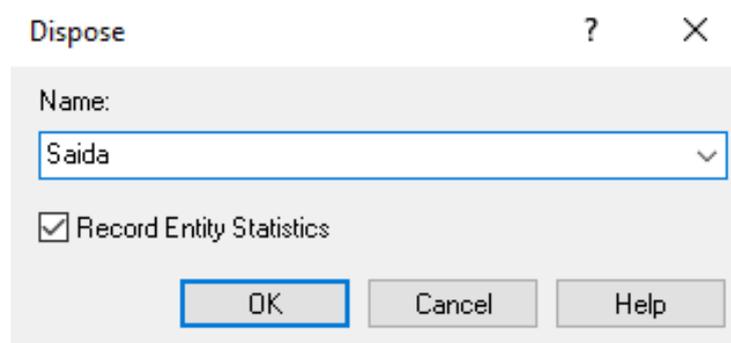


Figura 20 - Bloco *Dispose* do processo em questão

Fonte: Preenchimento no ARENA conforme dados coletados (2021)

Com o modelo computacional pronto, é iniciado o processo de validação do mesmo, a partir de testes de comparação com o sistema real. Com finalidade de

comparação, o número de pessoas atendidas até o final do dia foi coletado durante quatro dias, sendo 388 pessoas no primeiro dia, 312 no segundo dia, 358 no terceiro dia e 330 no quarto dia, o que resulta em uma média de 347 pessoas atendidas por dia. Após simular em 10 repetições o modelo computacional, o bloco Record gerou dados relacionados ao contador de entidades que passaram pelo sistema, desconsiderando as pessoas que chegaram após 17 horas. A média de pessoas atendidas foi de 336 pessoas por dia. Desta forma, o erro relativo é de 0,0317 ou de 3,17%. Assim, o modelo computacional pode ser considerado validado, considerando o pequeno valor do erro calculado, se tornando assim, o modelo experimental.

### 3.4. Análise dos resultados

Na terceira e última etapa do estudo de simulação, segundo Chwif e Medina (2015), é feita uma carga de experimentos com o modelo experimental pronto, com objetivo de analisar a influência de variáveis e observar qual seria o melhor cenário para que ocorra uma redução efetiva de filas.

A primeira simulação (será mencionada como “simulação 0” ao longo do trabalho) feita utilizou o modelo experimental na sua forma normal, com os dados coletados, simulando a realidade, com finalidade de analisar o sistema a partir dos dados gerados.

A configuração feita na aba *Run Setup* do software ARENA, considerou 10 replicações, sem período de aquecimento, considerando a unidade base de tempo como “segundos”, com um período de simulação de 8 horas e uma restrição foi criada, pois a duração do processo de vacinação é de 5 horas, porém as pessoas que já retiraram senha serão vacinadas após esse período. Logo, a restrição criada para finalizar a simulação foi: “ $TNOW > 5*60*60 \ \&\& \ NQ(\text{Agurda Liberar Vacinacao.Queue}) == 0$ ”, que indica que após 5 horas no tempo de simulação, caso não exista mais fila aguardando liberação para vacinar, a simulação termina. Com essa restrição podemos analisar melhor o uso de cada um dos recursos, tendo conhecimento do número total de vacinados por dia. A Figura 21 apresenta a aba *Run Setup* com as configurações mencionadas anteriormente.

The image shows the 'Run Setup' dialog box in Arena software. The 'Replication Parameters' tab is selected. The 'Number of Replications' is set to 10. The 'Start Date and Time' is set to 'sexta-feira, 10 de dezembro de 2021 18:42:36'. The 'Warm-up Period' is 0.0, 'Replication Length' is 8, and 'Hours Per Day' is 24. The 'Base Time Units' are set to 'Seconds'. The 'Terminating Condition' is 'TNOW > 5\*60\*60 && NQ(Agurda Liberar Vacinacao.Queue) == 0'. There are also checkboxes for 'Initialize Between Replications' (Statistics and System). The 'OK' button is highlighted.

Figura 21 - Configuração do *Run Setup* para a simulação 0 do sistema  
 Fonte: Preenchimento no ARENA conforme dados coletados (2021)

Com as configurações definidas, as simulações são feitas e, após as dez replicações requeridas, o relatório final é gerado, reportando dados que geram informações sobre o sistema quando analisados. Ao se analisar os dados referentes a filas, é observado que o tempo médio de espera na fila para o cadastro é de 6219,80 segundos, o equivalente a aproximadamente 1 hora e 44 minutos, enquanto o valor máximo de espera foi de 8817,41 segundos, o que equivale a aproximadamente 2 horas e 27 minutos. Por outro lado, o tempo médio de espera na fila para a vacinação foi de 60,47 segundos, o correspondente a 1 minuto, e o tempo máximo de espera foi de 295,41 segundos, o equivalente a 4 minutos e 55 segundos.

Outro dado importante apresentado nesta parte do relatório é o de média de pessoas aguardando na fila, onde são 87,04 pessoas em média e 122 pessoas no valor máximo aguardando para se cadastrar. Já aguardando para se vacinar, é

apresentado o valor de 0,8467 pessoas em média e 4 pessoas no máximo, o que nos mostra que o bloco *Hold* funcionou corretamente, não deixando o número máximo ultrapassar o valor de 4 pessoas. A Tabela 1 apresenta a parte do relatório relacionada a resultados que envolvem filas.

Tempo de espera (s)				
	Média	Intervalo de confiança	Média - Intervalo	Média + Intervalo
Agurda Liberar Vacinacao	6219,8	360,99	5858,81	6580,79
Cadastro	0	0	0	0
Vacinacao	60,4713	8,88	51,5913	69,3513
Número em espera (pessoas)				
	Média	Intervalo de confiança	Média - Intervalo	Média + Intervalo
Agurda Liberar Vacinacao	87,0443	4,63	82,4143	91,6743
Cadastro	0	0	0	0
Vacinacao	0,8467	0,14	0,7067	0,9867

Tabela 1 - Resultados sobre filas para a simulação 0  
Fonte: O Autor (2021)

Outra aba de importante análise no relatório é a que traz dados relacionados aos recursos, especificamente sobre a utilização desses. Na primeira linha, podemos ver a média de utilização de cada tipo de recurso. É apresentado que as enfermeiras tiveram uma média de 0,9050 ou 90,50% de utilização, um nível considerado alto. Já o funcionário de cadastro teve uma utilização média de 0,9861 ou 98,61% de uso.

Esses números indicam uma alta utilização das enfermeiras e do funcionário de cadastro. Com isso, simulações foram feitas para uma possível proposta de aumento no número de recursos, objetivando a redução do tempo médio de espera na fila e do número médio de pessoas na fila.

A última análise feita é sobre as variáveis escolhidas e configuradas no bloco *Record*, que foram: o número de pessoas vacinadas por dia e o tempo de permanência das mesmas no sistema. Considerando que foram rodadas 10 replicações, é possível afirmar, com 95% de confiança, que o número médio de pessoas vacinadas está dentro do intervalo [336 - 8,35; 336 + 8,35]. O número mínimo de atendidos em um dia foi de 321 pessoas e o número máximo de 356 pessoas. O tempo médio de permanência no sistema é de [204,99 - 6,13; 204,99 + 6,13] (em minutos) e o tempo máximo é de 432,77 minutos.

Após a análise dos resultados da simulação, três cenários foram propostos para observar o comportamento do sistema, a partir de modificações nos parâmetros

de entrada. Os principais indicadores comparativos a serem utilizados são: o tempo médio de espera em cada fila, o número médio de pessoas vacinadas por dia, a utilização dos recursos (funcionário de cadastro e enfermeiras) e o número médio de pessoas em cada fila. Os cenários propostos, resultados de modificações no cenário atual, são apresentados a seguir:

1. Aumentar a quantidade do recurso enfermeira de 2 para 3 pessoas.
2. Aumentar a quantidade do recurso funcionário de cadastro de 1 para 2 pessoas.
3. Aumentar a quantidade do recurso enfermeira de 2 para 3 pessoas e aumentar a quantidade do recurso funcionário de cadastro de 1 para 2 pessoas.

Logo, foram feitas simulações com os 3 cenários, todas com a mesma configuração no *Run Setup*, com 10 replicações, 8 horas de simulação e a condição “TNOW > 5\*60\*60 && NQ(Agurda Liberar Vacinacao.Queue) == 0”.

A simulação referente ao cenário 1 (simulação 1), faz necessário mudar apenas o valor do recurso enfermeiras para 3. Logo, a única modificação feita ao modelo de simulação é no bloco de dados *Resource* relacionado ao processo de vacinação. A Figura 22 apresenta o bloco com a modificação feita.

Resource - Basic Process						
	Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use
1	Func Cadastro	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0
2 ▶	Enfermeira	Fixed Capacity	3	0.0	0.0	0.0

Figura 22 - Bloco Resource da simulação 1

Fonte: Preenchimento no ARENA conforme dados coletados (2021)

Os resultados da simulação 1 são apresentados na Tabela 2. É notável, a partir desses dados, que houve uma diminuição da utilização das enfermeiras, de 90,50% para 61,1%, porém a utilização do funcionário de cadastro chegou ao limite máximo de 100%. O número médio de pessoas vacinadas não alterou significativamente, saindo de 336 pessoas para 339,1, em média.

Tempo de espera (s)				
	Média	Intervalo de confiança	Média - Intervalo	Média + Intervalo
Agurda Liberar Vacinacao	6005,01	328,58	5676,43	6333,59
Cadastro	0	0	0	0
Vacinacao	1,4189	0,23	1,1889	1,6489
Número em espera (pessoas)				
	Média	Intervalo de confiança	Média - Intervalo	Média + Intervalo
Agurda Liberar Vacinacao	85,0562	3,64	81,4162	88,6962
Cadastro	0	0	0	0
Vacinacao	0,02011	0	0,02011036	0,02011036
Utilização agendada				
	Média	Intervalo de confiança	Média - Intervalo	Média + Intervalo
Enfermeira	0,6116	0,01	0,6016	0,6216
Func. Cadastro	1	0	1	1
Especificação do usuário				
	Média	Intervalo de confiança	Média - Intervalo	Média + Intervalo
Tempo de Permanencia	12108,84	391,05	11717,79	12499,89
Pessoas Vacinadas	339,1	8,94	330,16	348,04

Tabela 2 - Resultados para a simulação 1

Fonte: O Autor (2021)

O segundo cenário a ser simulado (simulação 2), assim como o cenário 1, faz necessário mudar, em relação ao cenário atual, apenas o valor de um recurso. Nesse caso o recurso é o funcionário de cadastro, aplicando a mudança de 1 para 2 funcionários, ao utilizar novamente o bloco *Resource*.

Outro ponto de atenção está no bloco *Hold*, que nas últimas simulações utilizava a condição “NQ(Processo Vacinacao.Queue) < 4 && STATE(Func Cadastro) == IDLE\_RES”, que deve ser alterada, pois ao configurar o sistema para a existência de 2 recursos do tipo funcionário de cadastro, o *Hold* irá segurar as entidades caso um dos funcionários esteja ocupado, deixando o outro sempre livre. Neste caso, a expressão foi alterada para “NQ(Processo Vacinacao.Queue) < 4 && Processo Cadastro.WIP < 2”, que determina que o *Hold* libere as entidades caso a fila de vacinação seja menor que 4 e caso o número de pessoas em processo na atividade cadastro seja menor que 2.

Os resultados da simulação 2 são apresentados na Tabela 3. Nota-se, a partir dos resultados apresentados, que houve uma grande redução no tempo médio de espera na fila de cadastro, saindo de 6219,8 segundos para 4017,49 segundos, uma redução de 2202,31 segundos, o que equivale a menos 36 minutos e 42 segundos

de espera em média. Com isso, o número médio de pessoas na fila de cadastro também diminuiu, de 87 pessoas para 75.

Por outro lado, o tempo médio de espera e o número médio de pessoas na fila de vacinação aumentaram, mas não significativamente. O tempo médio de espera subiu de 60,4713 segundos para 235,28 segundos, um aumento de aproximadamente 2 minutos e 45 segundos. Já o número médio de pessoas na fila de vacinação subiu de 0,8467 pessoas para 3,6387.

A utilização dos recursos reflete o aumento do recurso funcionário de cadastro, diminuindo sua utilização, e a permanência da quantidade do recurso enfermeiras, aumentando sua utilização. Assim, a utilização do recurso funcionário caiu de 98,1% no cenário base, para 55,44% no cenário 2, e a utilização do recurso enfermeiras subiu de 90,50% para 99,59%, quase chegando ao seu limite máximo.

<b>Tempo de espera (s)</b>				
	Média	Intervalo de confiança	Média - Intervalo	Média + Intervalo
Agurda Liberar Vacinacao	4817,49	223,92	4593,57	5041,41
Cadastro	0	0	0	0
Vacinacao	235,28	3,12	232,16	238,4
<b>Número em espera (pessoas)</b>				
	Média	Intervalo de confiança	Média - Intervalo	Média + Intervalo
Agurda Liberar Vacinacao	75,2189	3,49	71,7289	78,7089
Cadastro	0	0	0	0
Vacinacao	3,6387	0,03	3,6087	3,6687
<b>Utilização agendada</b>				
	Média	Intervalo de confiança	Média - Intervalo	Média + Intervalo
Enfermeira	0,9959	0	0,9959	0,9959
Func. Cadastro	0,5544	0,01	0,5444	0,5644
<b>Especificação do usuário</b>				
	Média	Intervalo de confiança	Média - Intervalo	Média + Intervalo
Tempo de Permanencia	11056,8	243,02	10813,76	11299,8
Pessoas Vacinadas	335,3	7,77	327,53	343,07

Tabela 3 - Resultados para a simulação 2

Fonte: O Autor (2021)

Ao analisar os cenários 1 e 2, é notado que a utilização do recurso que não tem seu valor aumentado chega ao seu limite (100%) ou muito próximo dele. Isso acontece porque no cenário base as utilizações de ambos recursos ultrapassam os 90%. Logo, ao se observar esse ponto, foi proposto um terceiro cenário que, para reduzir ambas utilizações, propõe um aumento em 1 de quantidade em ambos os

recursos. A partir dessa proposta, o cenário 3 é configurado com 3 recursos do tipo enfermeiras e 2 recursos do tipo funcionário de cadastro.

A partir de uma análise sobre os resultados da simulação 3, apresentados nas Figuras 31, 32 e 33, pode-se avaliar uma mudança significativa nas variáveis focais do estudo. O tempo médio de espera na fila de cadastro teve uma alta redução comparado ao cenário base (simulação 0), chegando ao valor de 1791,49 segundos (aproximadamente 30 minutos) de espera em média na fila, o que caracteriza uma redução de aproximadamente 1 hora e 14 minutos de espera. Já o tempo médio de espera na fila de vacinação teve um aumento quase insignificante, de 30 segundos.

A outra variável que busca-se reduzir com o estudo é o número médio de pessoas na fila que, assim como o tempo médio de espera, obteve uma grande redução. A fila de cadastro no cenário base teve um valor de 87 pessoas em média, já no cenário 3, esse valor chegou a aproximadamente 34 pessoas, uma redução de 53 pessoas na fila de espera para tal atividade. Seguindo a análise feita sobre o tempo médio de espera na fila de vacinação, o número médio de pessoas na fila também obteve um aumento insignificante comparado ao impacto na diminuição na outra fila, resultando em aproximadamente 1 pessoa a mais em média.

Todos os resultados obtidos pela simulação 3 e apresentados nos parágrafos anteriores estão ilustrados na Tabela 4.

<b>Tempo de espera (s)</b>				
	<b>Média</b>	<b>Intervalo de confiança</b>	<b>Média - Intervalo</b>	<b>Média + Intervalo</b>
<b>Agurda Liberar Vacinacao</b>	1791,49	115,25	1676,24	1906,74
<b>Cadastro</b>	0	0	0	0
<b>Vacinacao</b>	90,9077	4,96	85,9477	95,8677
<b>Número em espera (pessoas)</b>				
	<b>Média</b>	<b>Intervalo de confiança</b>	<b>Média - Intervalo</b>	<b>Média + Intervalo</b>
<b>Agurda Liberar Vacinacao</b>	33,8868	2,43	31,4568	36,3168
<b>Cadastro</b>	0	0	0	0
<b>Vacinacao</b>	1,7149	0,11	1,6049	1,8249
<b>Utilização agendada</b>				
	<b>Média</b>	<b>Intervalo de confiança</b>	<b>Média - Intervalo</b>	<b>Média + Intervalo</b>
<b>Enfermeira</b>	0,8202	0,02	0,8002	0,8402
<b>Func. Cadastro</b>	0,6629	0,02	0,6429	0,6829
<b>Especificação do usuário</b>				
	<b>Média</b>	<b>Intervalo de confiança</b>	<b>Média - Intervalo</b>	<b>Média + Intervalo</b>
<b>Tempo de Permanencia</b>	7962,04	99,43	7862,61	8061,47
<b>Pessoas Vacinadas</b>	338,3	6,79	331,51	345,09

Tabela 4 - Resultados para a simulação 3

Fonte: O Autor (2021)

Com os resultados de todos cenários propostos já apresentados, pode-se fazer uma análise comparativa com finalidade de destacar os pontos positivos e negativos de cada um desses cenários e qual seria o mais adequado para o sistema em estudo. Com isso, todos os dados de maior relevância foram dispostos na Tabela 5.

Tempo de espera (s)				
	Simulação 0	Simulação 1	Simulação 2	Simulação 3
Tempo médio de espera na fila de cadastro	6219,8	6005,01	4017,49	1791,49
Tempo médio de espera na fila de vacinação	60,4713	1,4189	235,28	90,9077
Número em espera (pessoas)				
	Simulação 0	Simulação 1	Simulação 2	Simulação 3
Nº médio de pessoas na fila de cadastro	87,0443	85,0562	75,2189	33,8868
Nº médio de pessoas na fila de vacinação	0,8467	0,0201	3,6387	1,7149
Utilização agendada				
	Simulação 0	Simulação 1	Simulação 2	Simulação 3
Utilização do recurso funcionário de cadastro	0,9861	1	0,5544	0,6629
Utilização do recurso enfermeiras	0,905	0,6116	0,9959	0,8202

Tabela 5 - Comparação entre os resultados das simulações

Fonte: O Autor (2022)

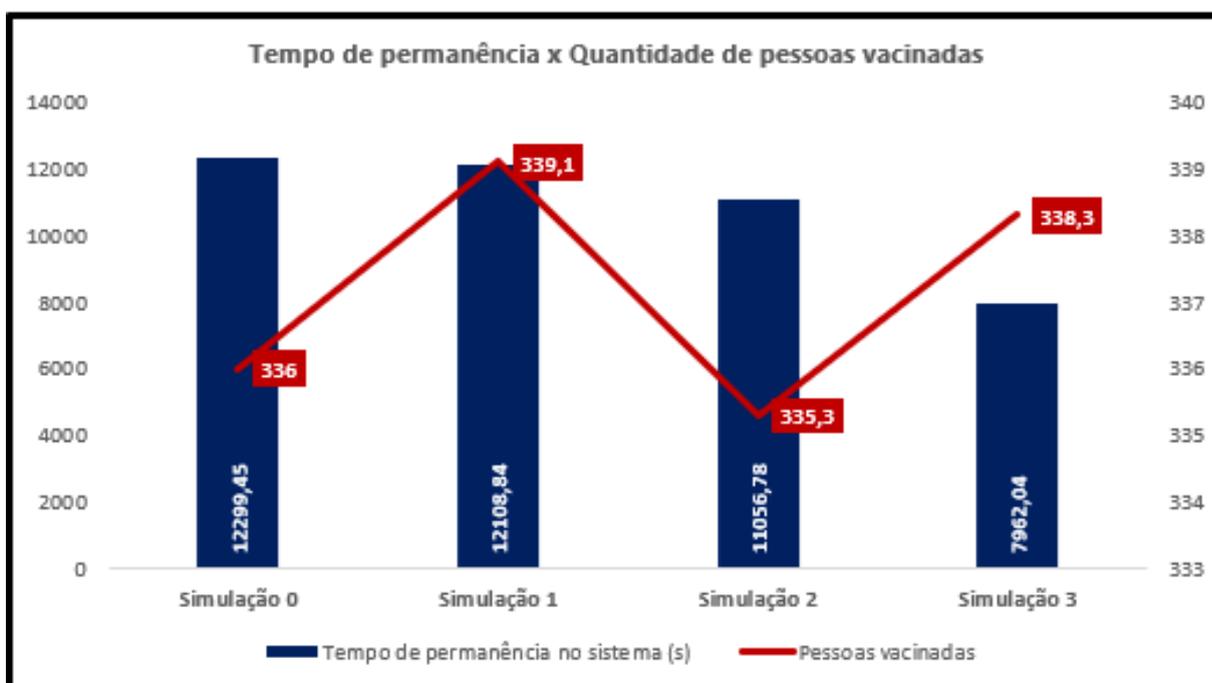


Figura 7 - Comparação entre os resultados de tempo médio de permanência no sistema e número de pessoas vacinadas das simulações

Fonte: O Autor (2022)

Ao comparar os resultados das 4 simulações feitas (cenário base e cenários propostos), pode-se concluir que existe a possibilidade de diminuição do tempo médio de espera e no número médio de pessoas na fila do processo de vacinação contra a covid-19 na UBS estudada. Como o tempo médio de espera na fila de cadastro para o cenário base era de aproximadamente 1 hora e 44 minutos e o da fila de vacinação era de 1 minuto, o foco foi dado aos resultados relacionados à fila de cadastro. A variação no tempo médio de espera, assim como o número médio de pessoas na fila de vacinação foi considerada insignificante em comparação a variação da fila de cadastro.

É observado que o cenário 1, onde se aumenta o número de enfermeiras de 2 para 3 pessoas, não demonstra uma melhoria significativa em nenhuma das variáveis observadas. O aumento do recurso “enfermeiras” acarreta na super utilização do recurso funcionário de cadastro, que se transforma em um gargalo.

Já no cenário 2, que aumenta o número de funcionários de cadastro de 1 para 2 pessoas, apresenta uma redução no tempo médio de espera na fila de cadastro de 35,4% e uma redução no número médio de pessoas na mesma fila de 13,6%. Apesar disso, o uso do recurso “enfermeiras” atinge um ponto muito próximo ao limite máximo de utilização.

O último cenário testado, o cenário 3, aumenta tanto o número de enfermeiras quanto o número de funcionários de cadastro, de forma a eliminar os gargalos apresentados nos cenários anteriores. Com isso, houve uma redução de 71,2% no tempo médio de espera na fila de cadastro e uma redução de 61,1% no número de pessoas nessa fila. Nesse cenário, nenhum recurso atua com uma utilização alta, com ambos resultados estando abaixo dos 85% de utilização.

Por meio desta análise, conclui-se que o cenário 3 é o que apresenta melhores resultados quando comparado ao cenário base. O cenário 1 é descartado pelo sua melhora quase insignificante. O cenário 2 traz reduções no tempo médio de espera e no número médio de pessoas na fila de cadastro, porém acarreta a utilização excessiva das enfermeiras.

Com os resultados apresentados, a decisão do melhor cenário pode ser baseada não só em desempenho, mas também pelo fator financeiro. No cenário 2, seria necessária a contratação ou alocação de mais um funcionário de cadastro, enquanto no cenário 3, esse número seria de 2 funcionários (um funcionário de

cadastro e uma enfermeira). Desta forma, a secretaria de saúde do município deve realizar uma análise de custos para tomar uma decisão com base no fator financeiro.

### **3.5. Cuidados Éticos**

Com intuito de resguardar as pessoas envolvidas no processo de vacinação na localização estudada, tanto o nome da UBS, quanto o da cidade foram mantidos em sigilo, assim como a identidade de todos presentes nos dias de coleta de dados.

## Capítulo IV

### CONCLUSÃO

A literatura estudada para o desenvolvimento deste trabalho e apresentada no Capítulo 2, mostra a diversidade de aplicações da simulação. Uma aplicação em particular, a feita no setor de saúde, vem sendo muito utilizada nos últimos anos com finalidade de estudar o comportamento de sistemas e suas filas e gerar informações necessárias para possíveis melhorias a partir de modificações aplicadas.

A simulação por meio do software ARENA® possibilitou a realização de análises do sistema, resultando em *inputs* para a proposta de 3 cenários criados a partir de modificações em quantidades de recursos do cenário base. Os cenários propostos puderam ser analisados também por meio de simulações com o software supracitado e, a partir de uma análise comparativa, um cenário foi selecionado como o ideal em questão de desempenho. Em questão financeira, 2 cenários foram confrontados e somente poderá ser decidido o melhor a partir de uma análise de custos que não esteve no escopo deste trabalho.

O estudo apresenta vantagens da aplicação da simulação para uma análise de filas de vacinação em tempos de crise, pois a partir destas análises é possível melhorar a dinâmica operacional de um posto de saúde, reduzindo o tempo médio de espera nas filas. Ao reduzir o tempo de espera, as pessoas podem utilizar do tempo que seria desperdiçado para outros afazeres.

O trabalho mostrou benefícios que a utilização das etapas de simulação propostas por Chwif e Medina (2015), aliadas a um software de simulação, podem trazer para análise de sistemas com características de formação de filas. Seria interessante, em trabalhos futuros, observar a aplicabilidade desse estudo com modificações, se necessárias, em outros sistemas de características semelhantes ao estudado.

## REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ARENA®. Rockwell Automation. Version 16.00.00002 Student. United States of America. 2021.

BAIRD, Scott P.; LEAVY, Jeffrey J. **Simulation Modeling Using ProModel for Windows**. Proceedings of the 1994 Winter Simulation Conference.

BANKS, J.; CARSON II, J.; NELSON, B.; NICOL, D. **Discrete Event System Simulation**. New Jersey: Prentice Hall, 2004.

BARBOSA, A.; FREITAS, V.; MAPA, S. Simulação De Eventos Discretos Aplicada À Melhoria Do Nível De Serviço Na Área Da Saúde. **XXXIX Encontro Nacional De Engenharia De Produção**, 2019.

CAMPOS, A.; GABRIEL, G.; SANTOS, C.; MONTEVECHI, J. Resposta À Pandemia De Covid-19: Planejamento E Otimização De Uma Unidade De Pronto Atendimento Utilizando Simulação Computacional. **XL Encontro Nacional De Engenharia De Produção**, 2020.

CARDOSO, Luiz Enéias Zanetti; JUNIOR, Celso Fernandes Joaquim. **Simulação Computacional: Análise Comparativa Dos Softwares ARENA® E ProModel®**. Tekhne e Logos, v. 7, n. 1, p. 14-30, 2016.

CHWIF, L.; MEDINA A. **Modelagem E Simulação De Eventos Discretos: Teoria & Aplicações**. 4 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

CHWIF, L. **Redução De Modelos De Simulação De Eventos Discretos Na Sua Concepção: Uma Abordagem Casual**. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da USP. São Paulo, 1999.

CORGOZINHO, M.; MARQUES, P.; FERREIRA, V.; SILVA, C.; ALMEIDA, J. Simulador Por Eventos Discretos Para Sistemas De Saúde. **LI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, 2019.

CORREIA, E.; NASCIMENTO, F. A Utilização Da Metodologia IDEF-SIM Como Metodologia De Auxílio Na Simulação De Um Ambiente Flow-Shop: Uma Proposta

De Melhoria Da Capacidade Produtiva De Uma Pequena Empresa. **XXXVI Encontro Nacional De Engenharia De Produção**, 2016.

GABRIEL, G.; AMARAL, J.; COUTINHO, G.; SANTOS, R.; QUEIROZ, J. Uso Da Simulação A Eventos Discretos Como Ferramenta Para Análise Dos Impactos Da Covid-19 Em Um Centro De Endoscopia. **XLI Encontro Nacional De Engenharia De Produção**, 2021.

FELIX, Thiago. **1ª Vacinada No Brasil**: Quem Me Ataca Não Tem Coragem De Estar Na Linha De Frente. CNN. 2021. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/saude/1-vacinada-no-brasil-quem-me-ataca-nao-tem-coragem-de-estar-na-linha-de-frente/>>. Acesso em: 30/01/2022.

FREITAS FILHO, Paulo José de. **Introdução Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações Arena**. 2 ed. Florianópolis: Visual Books, 2008.

GONÇALVES, A.; ROCHA, S.; OLIVEIRA, M.; LEITÃO, A.. Modelo De Simulação Aplicado Na Gestão De Serviços De Saúde. **XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2005.

HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J.. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 9 ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

JÚNIOR, Edward. **Simulação E Otimização Do Processo De Atendimento Em Uma Unidade De Saúde**. Monografia (Bacharel em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2015.

KELTON, D.; SADOWSKI, R.; STURROCK, D.; **Simulation With Arena**. 4 ed. New York: McGraw-Hill, 2007.

LEAL, F.; OLIVEIRA, M.; ALMEIDA, D.; MONTEVECHI, J. Desenvolvimento E Aplicação De Uma Técnica De Modelagem Conceitual De Processos Em Projetos De Simulação: O IDEF-SIM. **XXIX Encontro Nacional De Engenharia De Produção**, 2009.

LOBÃO, E.; PORTO, E. **Evolução das Técnicas de Simulação**. EESC-USP, vol. 9 no 1, São Paulo, 1999.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Plano Nacional de Operacionalização da Vacinação contra a Covid-19 - PNO**. Governo Federal. 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/saude/pt-br/coronavirus/publicacoes-tecnicas/guias-e-planos/plano-nacional-de-operacionalizacao-da-vacinacao-contra-covid-19.pdf>>. Acesso em: 08/02/2022.

MIYAGI, Paulo E. **Introdução À Simulação Discreta**. São Paulo: USP, 2006.

OLIVEIRA, M.; PEREIRA, T.; TUMANI, C.; OLIVEIRA, M. Análise Do Fluxo De Pacientes Em Um Pronto Atendimento Por Meio Da Simulação A Eventos Discretos. **XXXVIII Encontro Nacional De Engenharia De Produção**, 2018.

OUR WORLD IN DATA. **Covid Cases**, 2021. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/covid-cases>>. Acesso em: 29/07/2021.

PROMODEL®. Promodel Corporation. Version RunTimeSilver 2011. United States of America. 2011

RIBEIRO, Wandy. **Por Que A Vacina Contra Covid-19 Foi Desenvolvida Em Tempo Recorde**. ICTQ. 2021. Disponível em: <<https://ictq.com.br/farmacia-clinica/2636-por-que-a-vacina-contra-covid-19-foi-desenvolvida-em-tempo-recorde>>. Acesso em: 27/01/2022.

SANTOS, A.; FAGUNDES, C.; RODRIGUES, T.; FERREIRA JUNIOR, J. Modelagem E Simulação Do Processo De Atendimento Cardiológico Em Um Posto De Saúde Visando Menor Tempo De Espera Do Paciente. **XXXVIII Encontro Nacional De Engenharia De Produção**, 2018.

SANTOS, J.; HUGO, A.; CAMPOS, A.; PINHO, A.; LIMA, J.; LIMA, R. Análise De Um Pronto Atendimento Dedicado Ao Tratamento De Covid-19 Por Meio De Um Modelo De Simulação Híbrida. **LIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, 2021.

SOBRAPO. **O que é Pesquisa Operacional?**, 2021. Disponível em: <https://www.sobrapo.org.br/o-que-e-pesquisa-operacional>. Acesso em: 29/07/2021.

TAHA, Hamdy A. **Pesquisa Operacional: Uma Visão Geral**. 8 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.