

# Um Relato da Experiência do Ensino de Simulação com Teoria das Filas

Francisco Victor da S. Pinheiro<sup>1</sup>, Emanuel F. Coutinho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Computação (PCOMP)  
Universidade Federal do Ceará (UFC) – Quixadá – CE – Brasil

victor.pinheiro.ce@alu.ufc.br, emanuel.coutinho@ufc.br

**Abstract.** *Simulating systems helps to better understand behavior and experience changes. In the context of Software Engineering, simulations can help in the allocation of human resources, in the sequencing of activities, in the distribution of tasks, and consequently in the associated costs, bottlenecks and planning. A known and applied simulation technique in several areas is the Queuing Theory. In this context, Queuing Theory emerges as an option to work simulation in software development and maintenance, which can help in the distribution of the project team or in the assessment of the service level. This work aims to report the use of Queuing Theory with a focus on systems development in a master's course. As a result, in addition to disseminating the simulation area, there was favorable feedback from students to explore Queuing Theory in other opportunities.*

**Resumo.** *Simular sistemas auxilia a entender melhor o comportamento e experimentar mudanças. No contexto da Engenharia de Software, simulações podem auxiliar na alocação dos recursos humanos, no sequenciamento de atividades, na distribuição de tarefas, e consequentemente nos custos associados, gargalos e planejamento. Uma técnica de simulação conhecida e aplicada em diversas áreas é a Teoria das Filas. Nesse contexto, a Teoria das Filas surge como uma opção para trabalhar simulação no desenvolvimento e manutenção de software, podendo auxiliar na distribuição da equipe do projeto ou na avaliação do nível de serviço. Este trabalho tem como objetivo relatar a utilização de Teoria das Filas com foco no desenvolvimento de sistemas em uma disciplina do mestrado. Como resultados, além de disseminar a área de simulação, houve um feedback favorável dos alunos para explorar a Teoria das Filas em outras oportunidades.*

## 1. Introdução

Simular sistemas auxilia em entender melhor o comportamento e experimentar mudanças, podendo identificar ajustes no sistema ou obter uma melhor relação de custo benefício. Adicionalmente, também é possível abstrair elementos do sistema, focando em partes mais relevantes para um determinado cenário.

No contexto da Engenharia de Software, simulações podem auxiliar as empresas em suas estimativas da alocação dos recursos humanos, e consequentemente nos custos associados. Pode informar situações de sobrecarga e de ociosidade de recursos, possibilitando um replanejamento mais efetivo [Coutinho e Bezerra 2021]. Outro aspecto importante da simulação é no ensino de Engenharia de Software. Por meio de simulações,

situações variadas podem ser projetadas e analisadas. A facilidade da alteração dos recursos possibilita experimentar diversos cenários no contexto educacional, permitindo que os alunos vejam os efeitos das alterações em recursos pertinentes a projetos de software.

Tanto a simulação quanto a Engenharia de Software prescrevem o uso de modelos em diferentes níveis de abstração e formalismo [França e Neto 2021]. Enquanto a simulação requer um modelo subjacente que é executado ao longo do tempo para materializar o comportamento do sistema, a Engenharia de Software adota modelos para capturar as propriedades do sistema (estático e dinâmico) para suportar partes do ciclo de vida de desenvolvimento de software.

O ensino de simulação pode colaborar em várias áreas relacionadas a Computação. Redes de Computadores se aproveita bem de simulações de infraestruturas, comportamentos, tráfego na rede, etc. Em Engenharia de Software há também esforços de simulação, seja de modelos, de comportamentos humanos, passos de uma aplicação, etc. A área de Processos de Software também pode utilizar bem simulação, pois é comum ter uma sequência de atividades, com papéis e quantidade de recursos variados, atividades de entrada e saída. Todos esses itens são passíveis de serem simulados.

Uma técnica de simulação conhecida e aplicada em diversas áreas é a Teoria das Filas. A teoria das filas é um campo bem consolidado, com estudos datando de 1900 [Gross e Harris 1998][Antoniol et al. 2004]. Esta teoria foi aplicada com sucesso a uma grande variedade de problemas: comutação telefônica, projeto de redes, manutenção de centros de funcionários, reparo de peças, distribuição de mercadorias e gerenciamento de centros de serviços. No contexto do desenvolvimento e manutenção de software, a teoria das filas pode auxiliar na distribuição da equipe do projeto, e na avaliação do nível de serviço. Um sistema de filas pode ser descrito como clientes que chegam para o serviço, aguardam pelo serviço caso o atendimento não seja imediato, e saem do sistema após serem atendidos [Antoniol et al. 2004]. O termo cliente é usado em um sentido geral e não implica necessariamente um cliente humano (por exemplo, solicitações de manutenção podem ser consideradas clientes). Um sistema de filas modela o estado estacionário do processo, enquanto situações transitórias não são levadas em consideração. Os parâmetros do sistema de enfileiramento observável são: (i) Taxa de tráfego de chegada: a taxa média de clientes que entram no sistema de filas e, se disponível, sua distribuição estatística; (ii) Tempo de serviço: o tempo que um servidor precisa para processar uma solicitação e, se disponível, sua distribuição estatística; (iii) Capacidade da fila: finita ou infinita; e (iv) Disciplina de fila: FIFO, LIFO, aleatória, com prioridade, etc.

Especificamente neste trabalho, considerando simulação de aspectos relacionados ao desenvolvimento de software, a Teoria das Filas traria vários benefícios. Alguns exemplos de benefícios seriam: estudar a alocação de recursos, evitar gastos com avaliação de diferentes cenários, maximização da produtividade e do tempo, identificar gargalos em atividades e de recursos. Este trabalho tem como objetivo relatar a utilização de Teoria das Filas com foco no desenvolvimento de sistemas em uma disciplina do mestrado. Este artigo está dividido nas seguintes seções: na Seção 2 alguns trabalhos relacionados são descritos; a Seção 3 contextualiza a disciplina; na Seção 4 a estratégia de condução do trabalho é apresentada; a Seção 5 exhibe os resultados e análises; e na Seção 6 conclusões e trabalhos futuros são apresentados.

## 2. Trabalhos Relacionados

Aversano et al. (2001) pesquisaram a introdução do gerenciamento de fluxo de trabalho em uma organização de manutenção de software com um projeto piloto envolvendo uma grande empresa internacional de software. O trabalho apresentou a implementação de protótipo baseada em fluxo de trabalho que automatiza o fluxo das atividades do processo de manutenção comum. Os líderes de projeto e de equipe tiveram a sensação de que a introdução da tecnologia de fluxo de trabalho ajuda a reduzir o tempo de gerenciamento de processos, principalmente na: (i) padronização dos canais pelos quais as solicitações de manutenção são recebidas; (ii) melhoria na capacidade de monitorar e controlar solicitações de manutenção; e (iii) melhoria no suporte à alocação de recursos.

Antoniol et al. (2004) apresentaram uma abordagem baseada em teoria das filas e simulação estocástica para ajudar a planejar, gerenciar e controlar a equipe do projeto e o nível de serviço resultante em processos de manutenção multifásicos distribuídos. Dados de uma intervenção massiva de manutenção em um grande sistema de software financeiro foram utilizados para simular e estudar diferentes configurações do centro de serviço para um projeto de manutenção de software distribuído geograficamente. A teoria das filas e a simulação estocástica forneceram um meio de avaliar a equipe, o nível de serviço e a probabilidade de cumprir o prazo do projeto durante sua execução.

Gomes et al. (2019) apresentaram uma simulação para mitigar falhas na estimativa de esforço de desenvolvimento de software. Este estudo usou o histórico de 181 projetos de uma empresa de software e a simulação na ferramenta ARENA. Concluíram que os resultados do método atual de estimativa de esforço dos projetos, baseado em estimativas empíricas do sentimento de seus funcionários, devem ser melhorados com a abordagem de simulação contínua. A modelagem desta simulação forneceu uma melhor compreensão de intervalos de esforços aplicados no desenvolvimento de software nesta empresa, e, o mais importante, a quantidade de risco assumida em cada esforço total estimativa.

Chiang e Lin (2020) propuseram uma estrutura para ajudar uma empresa de software a avaliar os recursos existentes para tomar decisões sobre se a estimativa do custo é viável e ajudar a fazer a alocação de recursos humanos para a formação de equipes em duração fixa do projeto, com habilidade de trabalho e restrições orçamentárias. Para isso, utilizou-se programação inteira e um estudo de simulação para demonstrar a aplicabilidade do modelo. Os resultados de eficiência máxima de habilidade e custo mínimo de contratação são estudados na alocação dos recursos do projeto.

Coutinho e Bezerra (2021) apresentaram um estudo sobre Teoria das Filas e simulação para auxiliar na distribuição de tarefas de manutenção no contexto de desenvolvimento e manutenção de aplicações. Para o atendimento deste objetivo, as seguintes etapas foram planejadas: (i) Definição de três cenários de simulação; (ii) Projeto dos cenários na ferramenta; (iii) Execução das simulações e coleta dos dados; (iv) Consolidação dos dados; e (v) Análise e interpretação dos resultados. Como resultados, por meio das simulações detectou-se ociosidade na utilização dos recursos e o tempo de espera das tarefas para o atendimento pelos programadores reduziu.

Todos os trabalhos apresentados possuem aspectos de simulação e Engenharia de Software, porém nem todos utilizaram Teoria das Filas. Aversano et al. (2001) focou em protótipos para a manutenção. Antoniol et al. (2004) analisou a manutenção de sistemas

e alocação de pessoas do projeto com Teoria das Filas. Gomes et al. (2019) também utilizaram Teoria das Filas para o estudo de falhas em estimativas de esforço. Chiang e Lin (2020) analisaram a alocação de recursos aos projetos, porém utilizaram programação inteira nas simulações. Coutinho e Bezerra (2021) utilizaram Teoria das Filas para tarefas de manutenção.

### 3. Contextualização da Disciplina

#### 3.1. Disciplina de Análise de Desempenho

A disciplina na qual o assunto Teoria das Filas está incluído é Análise de Desempenho. Esta disciplina é ministrada no Programa de Pós-Graduação em Computação (PCOMP), da Universidade Federal do Ceará, campus Quixadá. Seu objetivo geral é possibilitar ao aluno estudar técnicas de avaliação de desempenho e de projeto de experimentos, e assim executar experimentos de maneira mais organizada e reproduzível, independente da área do conhecimento. Como objetivos específicos tem-se: apresentar aos alunos conceitos de análise de desempenho, possibilitar aos alunos projetar e executar a análise de desempenho de experimentos e apresentar aos alunos conceitos básicos de estatística. Sua carga horária conta de 64 horas aula, distribuídos na seguinte ementa: Conceitos de metodologia científica: observabilidade, repetibilidade, falseabilidade e controle, escolha de métricas, fatores e níveis, medições ativas e passivas, simulação versus emulação de comportamento, e intervalos de confiança e testes de hipóteses.

Especificamente para o assunto simulação, o planejamento da disciplina considerou utilizar Teoria das Filas. Basicamente utilizou-se a seguinte carga horária: 4 horas para teoria, 4 horas para prática, e 4 horas para seminários. A aula teórica utilizou slides, e adotou-se a ferramenta ARENA. Durante todas as aulas, procurou-se apresentar diversos exemplos de modelos.

A avaliação do assunto Teoria das Filas deu-se por meio de um trabalho, que consistiu nas seguintes atividades: (i) identificação de cinco aplicações de Teoria das Filas em sua área de pesquisa; (ii) modelagem e análise na ferramenta ARENA; e (iii) apresentação dos resultados.

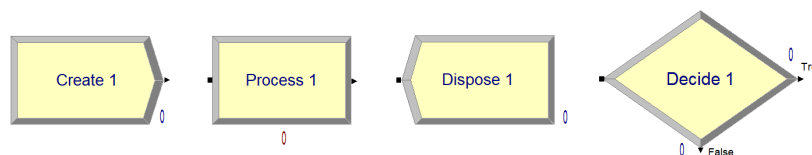
#### 3.2. Ferramenta ARENA

Para as simulações, utilizou-se o software Arena<sup>1</sup> com o modelo FIFO (*first-in first-out*). Optou-se por esta ferramenta por sua ampla utilização no mercado, grande penetração no meio acadêmico e dispor de uma versão para o uso estudantil. Para cada um dos cenários propostos neste trabalho, foram configurados alguns parâmetros referentes às funções estocásticas de chegada das tarefas, produtividade dos programadores, da quantidade de tarefas atendidas e do tempo de duração de toda a simulação. Na ferramenta, quatro componentes serão utilizados para a descrição dos cenários: *Create*: ponto de partida para entidades em um modelo de simulação. As entidades são criadas usando um agendamento ou programação ou com base no tempo entre as chegadas, e saem deste módulo para iniciar o processamento pelo sistema; *Dispose*: ponto final para entidades em um modelo de simulação. As estatísticas da entidade podem ser registradas antes de seu descarte; *Process*: principal método de processamento na simulação. Opções para

---

<sup>1</sup>Arena - <https://www.arenasimulation.com>

capturar e liberar restrições de recursos estão disponíveis; e *Decide*: permite processos de tomada de decisão no sistema. Inclui opções para tomar decisões com base em uma ou mais condições ou com base em probabilidades. A Figura 1 exibe os componentes do ARENA na notação definida na ferramenta.



**Figura 1. Componentes da ferramenta ARENA.**

#### 4. Estratégia de Condução do Trabalho

Este trabalho tem como objetivo relatar a utilização de Teoria das Filas com foco no desenvolvimento de sistemas em uma disciplina do mestrado. Para isto, as seguintes etapas foram projetadas: (i) Projeto de um questionário a ser aplicado com os alunos da disciplina; (ii) Consolidação dos resultados do questionário; (iii) Compilação dos trabalhos da disciplina; (iv) Apresentação de exemplos dos trabalhos de aplicação e modelagem; (v) Discussão e análise dos resultados.

A Tabela 1 exibe as questões planejadas, sendo composta por questões fechadas de seleção única e de questões abertas de texto livre para opinião. Por meio das respostas, espera-se apresentar o perfil dos alunos que responderam à pesquisa e suas experiências no estudo de Teoria das Filas. Algumas citações dos participantes foram capturadas para destacar aspectos das questões de opinião. Estes participantes estão identificados na pesquisa com a seguinte nomenclatura, para preservar a anonimidade: letra maiúscula “P” seguida por um número que corresponde à sequência de resposta do questionário.

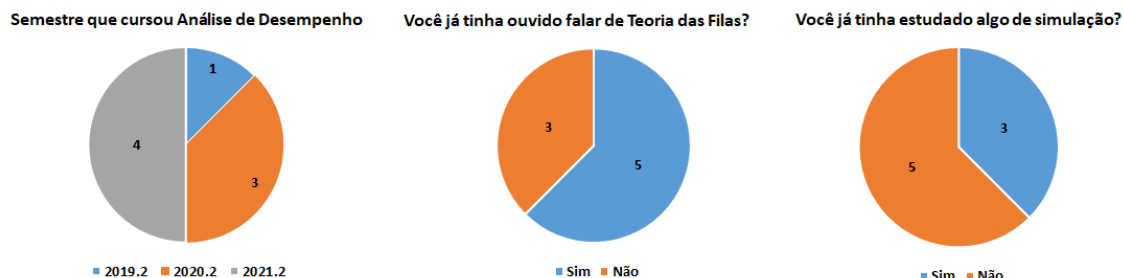
**Tabela 1. Questões de seleção (QS) e de opinião (QO) do questionário**

QS1	Curso de graduação / área de formação
QS2	Semestre que cursou Análise de Desempenho?
QS3	Você já tinha ouvido falar de Teoria das Filas?
QS4	Você já tinha estudado algo de simulação?
QS5	O quanto a aula foi proveitosa em relação ao conteúdo de Teoria das Filas?
QS6	O quanto a aula foi proveitosa em relação à carga horária de Teoria das Filas?
QS7	Qual sua opinião em relação ao nível de adequação do ARENA à disciplina e às práticas?
QO1	Na sua opinião, em que Teoria das Filas ajudou a entender melhor?
QO2	Na sua opinião, quais seriam as aplicações de Teoria das Filas?
QO3	Qual sua opinião em relação ao trabalho de Teoria das Filas? Aponte dificuldades, benefícios, relevâncias, outras ideias, aplicabilidade, adequação, etc.
QO4	Na sua opinião, o que a aula poderia ter tido para melhorar o ensino de Teoria das Filas? Material, exemplos, práticas, teoria, ferramentas, etc.

#### 5. Resultados e Análises

A pesquisa ocorreu no final do segundo semestre letivo de 2021. Até este momento, a disciplina de AD tinha acontecido em 3 edições, com uma quantidade total de alunos igual a 25. Porém, nesta pesquisa apenas 8 alunos responderam. Os alunos possuíam formações de graduação variadas, sendo as seguintes: Ciência da Computação (2), Redes de Computadores (2), Sistemas de Informação (2), Engenharia de Software (1) e Sistemas de Mídias Digitais (1). Todos esses cursos são relacionados à área de Computação.

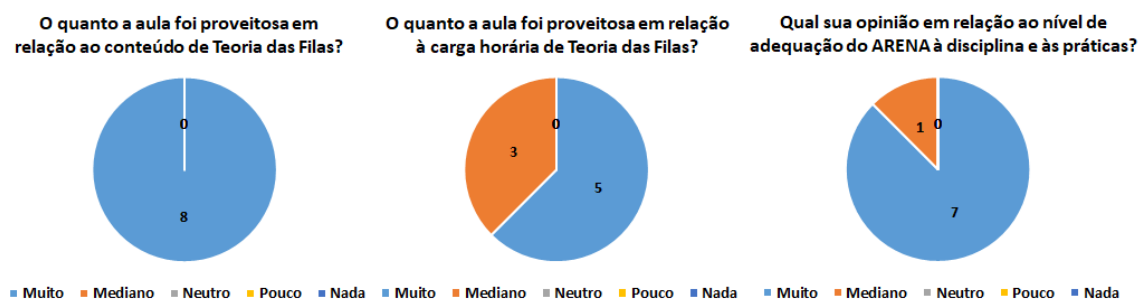
A Figura 2 exibe as repostas para as questões sobre semestre, se ouvi falar sobre Teoria da Filas e se já havia estudado. A Figura 3 exibe as repostas para as questões sobre conteúdo, carga horária e ferramenta.



**Figura 2. Métricas para o Cenário 2 - com testes e sem cliente**

Metade dos alunos que responderam ao questionário foram do semestre 2021.2. Naturalmente obter respostas de semestres anteriores (mais distantes) é uma tarefa difícil, pois vários alunos não possuem mais contato ou não utilizam o sistema acadêmico da universidade. Cinco alunos relataram que já tinham ouvido falar sobre Teoria das Filas. Em geral, estudar Teoria das Filas em disciplinas da graduação de cursos relacionados à Computação não é comum. Porém, como esse assunto permeia diversas áreas, como Administração, Economia e Saúde, é possível que os alunos tenham tido contato com o tema em outras áreas.

Três alunos relataram que já haviam estudado Teoria das Filas. Alguns alunos de cursos de Redes de Computadores, então simulação é algo comum da ementa desse curso. Isso refletiu na resposta de **P6** com “*Sim, na graduação utilizei simuladores de rede como NS3*”. Também houve um caso de aluno que já havia estudado simulação, com foco em processos. Esse aluno, o **P8**, foi do curso de Sistemas de Informação, e mencionou o seguinte: “*Sim, já tinha estudado um pouco sobre simulação de processos. Também simulação e modelagem de sistemas.*”.



**Figura 3. Métricas para o Cenário 2 - com testes e sem cliente**

Em relação ao conteúdo, todos os alunos responderam que a disciplina foi muito proveitosa. Acredita-se que essa avaliação alta se deve ao foco em aplicações e práticas, e não em uma abordagem mais matemática. Em relação à carga horária, 5 alunos responderam que a disciplina foi muito proveitosa, e 3 responderam aproveitamento mediano. A carga horária planejada de Teoria das Filas dentro da disciplina de análise de desempenho é relativamente curta, o que impede aprofundar no assunto e praticar mais. A ferramenta

adotada na disciplina foi o ARENA. Ela permitiu prática de Teoria das Filas e visualização dos resultados tanto em modelos quanto relatórios. Em suas funcionalidades mais básicas de simulação e análise, a ferramenta é relativamente simples de se utilizar. Isso pode ter relação com as 7 respostas dos alunos indicando muito adequada para a disciplina e para práticas.

Ao considerar em que Teoria das Filas ajudou a entender melhor, as respostas foram variadas. O que mais se destacou foi a compreensão de processos, com 5 menções, como destacado por **P2** com o seguinte comentário *“Ajuda a compreender etapas de processos e como melhora-los, principalmente com relação a erros observados”*. Em seguida, a identificação de gargalos, com 2 menções. Todos os demais itens obtiveram apenas uma citação: alocação de recursos, ambientes, erros, ferramentas e visualização.

As aplicações de Teoria das Filas também foram variadas, mesmo considerando poucas respostas. De maneira geral, a execução de processos em qualquer área. Houveram aplicações de situações do dia a dia, como restaurantes, carga e descarga de produtos, que não são relacionadas à software. Porém houve menções a simulação de *test smells*. Sistemas de pagamento, cadeia de suprimentos e banco são comuns em diversas plataformas, e tais aplicações poderiam ser simuladas. Por fim, a área de Redes de Computadores sempre utilizam simulação como meio de avaliar ambientes e infraestruturas, e também em pesquisas. Nesse sentido, **P8** relatou o seguinte: *“Vejo aplicações de Teoria das Filas em quase tudo que posso imaginar, tanto em redes de computadores, como em engenharia de software, design, ou seja tudo o que houver fila e simulação de algo ou ambiente”*.

Quanto aos benefícios, o mais mencionado foi a melhor compreensão de problemas e processos, como destacado por **P2** em *“O trabalho foi importante para compreensão de problemas e modelagem dos processos. Isso ajuda a entender melhor o conteúdo”*. O aspecto pesquisa surgiu como uma possibilidade de aproveitamento da Teoria das Filas. Por fim, a identificação de gargalos no sistema.

Como dificuldades identificadas, o principal foi em relação ao software de simulação, no caso o ARENA. A maioria em relação à plataforma e instalação. Houveram alguns comentários sobre a utilização e curva de aprendizado. Mesmo assim, considerou-se que sua utilização foi muito satisfatória para atender aos objetivos da disciplina. Esse aspecto foi destacado por **P6** em *“A curva de aprendizado na utilização da ferramenta, após isso o trabalho correu bem”*.

Por fim, em relação a melhorias na aula e no ensino de Teoria das Filas, praticamente exemplos foi o item mais reforçado pelos alunos. A necessidade de exemplos, material didático mais aplicado e mais trabalhos e seminários complementaríamos as aulas. Quanto à ferramenta, mencionou-se o interesse por ferramentas *open source*. Por fim, e bem relacionado à software, uma sugestão foi trazer problemas bem mais próximos ao código, que foi a sugestão de **P4** com *“Tratar teoria das filas com algum problema a nível de código pode facilitar para algumas pessoas o entendimento”*.

### **5.1. Aplicações e Modelos da Disciplina**

A disciplina produziu muito material relacionado a Teoria das Filas. Muitos exemplos foram muito voltados para a simulação de sistemas, como: atendimento médico, triagens, consultas, aeroporto e cadeia de suprimentos. Algumas aplicações foram para gestão de projetos, como gerenciamento do fluxo da equipe, para minimização dos riscos nos

projetos. Nem todas as aplicações e modelos gerados foram diretamente relacionados à Teoria das Filas, mas permitiram o estudo e prática do assunto. A seguir serão destacados apenas aplicações e modelos relacionados ao desenvolvimento de software.

Outras aplicações foram mais próximas de código, como simular diversas chamadas ao mesmo método de um contrato inteligente de uma blockchain e verificar se todos obtiveram as respostas esperadas. Os assuntos refatoração, *code* e *test smells* também foram citados. Por exemplo, simular o número de atividades de refatoração como sendo a entrada, o número de programadores e sua produtividade como processamento, para avaliar o número de atividades de refatoração que podem ser feitas em um período de tempo. Simular números de sistemas como entrada e as ferramentas de detecção de *code smells* como processamento para verificar o número de *code smells* que podem ser encontrados no decorrer do desenvolvimento. Simular o número de atividades de teste após as refatorações, o testadores podem ser o processamento para verificar o número de testes que podem ser feitos a partir do número de atividades de testes. Simular a identificação de *test smells* em projetos de software, o desempenho da seleção das técnicas de refatoração de *test smells*, a distribuição de equipes para trabalhar com *test smells*, e simular o comportamento de ferramentas automatizadas para identificar / refatorar *test smells*.

Por fim, menções a atividades de integração contínua e testes. Simular quando uma mudança chega ao servidor, e o sistema de integração contínua realiza uma bateria de processamento para validar o novo código, podendo cada atividade ser de testes ou análise estática. Simular desenvolvedores que submetem periodicamente as suas atividades para análise, onde os responsáveis pela análise manual da atividade são os supervisores de qualidade da equipe. Simular defeitos para correção, onde o cliente e um sistema de testes automatizados como fonte de identificação de defeitos em um determinado sistema. Simular mudanças para implantações, em que as mudanças submetidas são automaticamente implantadas em produção por meio do sistema de integração contínua.

## 5.2. Exemplos de Aplicação - Revisão de Código

A disciplina deixou livre a área de aplicação do trabalho de Teoria das Filas, porém alguns foram diretamente relacionados a software. Um deles foi denominado de “do desenvolvimento à revisão de código”, sendo apresentado nesta subseção. O problema a ser tratado será descrito com mais detalhes, todos modelados na ferramenta.

Os valores e distribuições estatísticas utilizados não são baseados em nenhum estudo real, apenas para fim de praticar simulações. O problema está relacionado a um processo hipotético de desenvolvimento de software, onde as atividades são geradas com base em uma função de tempo exponencial com tempo médio de 2 horas. A distribuição exponencial é uma distribuição muito utilizada na prática para modelar tempo de falha de objetos, e também as variáveis aleatórias de tempos entre chegadas e atendimento. Considerando que a equipe de desenvolvimento é experiente e que as atividades estão bem definidas, o tempo de resolução de cada atividade é dado por uma função exponencial com tempo médio de 1 hora e meia.

Após a finalização da implementação, a atividade é encaminhada para análise em um servidor de integração contínua que realizará os testes e reportar possíveis erros/falhas. O tempo de análise pelo servidor de integração contínua é baseado em uma função triangular com tempos mínimo, médio e máximo de 1, 4 e 15 minutos, respectivamente. Após



a análise pelo servidor de integração contínua em média 85% das atividades são aprovadas sendo que os outros 15% têm que voltar para correção dos erros. O último passo do processo é a análise manual de código pelos supervisores do projeto, onde o tempo de análise pode ser descrito através de uma função triangular com tempos mínimo, médio e máximo de 5, 12 e 20 minutos, respectivamente. Após a análise manual do código, em média 95% das atividades são aprovadas e os outros 5% voltam para correções. O processo foi modelado na ferramenta Arena considerando um período de 6 meses e um dia de 8 horas, totalizando 120 dias. A Figura 4 exibe o modelo na ferramenta.

Quanto aos resultados da execução da simulação, obteve-se: (i) 470 atividades foram finalizadas; (ii) na fila para desenvolvimento as atividades passaram em média 595,9 minutos na espera e possuíam em média 5,6 atividades na fila; (iii) na fila para análise de integração contínua as atividades passaram em média 0,2 minutos na espera e possuíam em média 0,002 atividades na fila; (iv) na fila para *code review* as atividades passaram em média 0,6 minutos na espera e possuíam em média 0,005 atividades na fila; e (v) a utilização média do desenvolvedor, servidor de integração contínua e supervisor foram de aproximadamente 87%, 6% e 10%, respectivamente. Na simulação foi alocado apenas um recurso de cada tipo e o gargalo ficou relacionado ao desenvolvedor.



**Figura 4. Modelo no ARENA do desenvolvimento à revisão de código**

### 5.3. Análises e Discussões

Trazer simulação com Teoria das Filas para o desenvolvimento de software pode colaborar com a área de Computação de maneira geral. Entretanto, algumas áreas podem se beneficiar mais que outras, e em outras áreas pode ser mais fácil e de aplicação mais direta. Em relação desenvolvimento de software, existem vários relatos na literatura simulando sequências de atividades, por exemplo testes de software, processos de qualidade de software e alocação de recursos. Em relação à código fonte em si não foram identificados trabalhos na literatura que utilizasse Teoria das Filas. Um exemplo de uso poderia ser a identificação de padrões de ocorrência de erros no código fonte de uma aplicação, e a alocação da correção para equipes de manutenção, e conseqüentemente o reteste.

França e Neto (2021) apontaram que o suporte à ferramenta fornecido na especificação e execução de modelos de simulação, como mecanismos visuais e de animação, pode ajudar arquitetos, projetistas e engenheiros de software a entender o impacto das decisões de projeto e como elas podem afetar todo o sistema. A experiência na disciplina comprovou que simular diversas atividades com Teoria das Filas colabora para um maior entendimento, além de possibilitar uma análise do desempenho dos sistemas.

Esse trabalho identificou algumas ameaças à validade e limitações da pesquisa. Uma delas foi a quantidade de respostas do questionário. A pesquisa obteve poucas respostas (apenas 8 de 25 possíveis). Mesmo assim, foi possível obter uma visão geral da disciplina em semestres diferentes. A curva de aprendizado da ferramenta não foi avaliada, pois o objetivo da disciplina não era treinar na ferramenta. Nesse caso, não é possível

avaliar o quanto a ferramenta colaborou para o aprendizado de Teoria das Filas, pois não foi conduzida uma avaliação. Além disso, poucas funcionalidades da ferramenta (apenas as mais básicas de simulação) foram utilizadas. Por fim, nenhum modelo foi baseado em dados reais, nem tão detalhado. A Teoria das Filas se beneficia de modelos estatísticos para a entrada / chegada de elementos no sistema de filas, como a quantidade de chegada de solicitações de um cliente, ou a distribuição estatística que representa a produtividade do programador. Esses aspectos foram comentados e exemplificados em sala de aula, mas não explorados. No mesmo semestre em que a disciplina de Análise de Desempenho estava ofertada, a disciplina de Engenharia de Software também estava. Isso influenciou os temas de alguns dos trabalhos, pois eram os assuntos de pesquisa dos alunos.

## 6. Conclusão

Esse trabalho apresentou uma relato da utilização de Teoria das Filas em uma disciplina de um curso de mestrado em Computação. O perfil da maioria dos alunos são de formação de cursos com foco em desenvolvimento de sistemas. Devido a isso, há uma proximidade com simulação de aspectos de software, seja programação, sejam atividades de qualidade ou testes. Os resultados da disciplina foram interessantes neste assunto de simulação, onde se ministrou apenas Teoria da Filas e prática em uma ferramenta. De maneira geral o *feedback* dos alunos foi favorável a explorar a área. Como trabalhos futuros, pretende-se ampliar o ensino de simulação com Teoria das Filas, focando em atividades de desenvolvimento de software, e analisar os resultados do ponto de vista matemático. Adicionalmente, trazer bases históricas que possam ser utilizadas nos projetos da disciplina, para que os resultados sejam mais fiéis com a realidade de desenvolvimento de software.

## Referências

- Antoniol, G., Cimitile, A., Di Lucca, G. A., e Di Penta, M. (2004). Assessing staffing needs for a software maintenance project through queuing simulation. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 30(1):43–58.
- Aversano, L., Betti, S., De Lucia, A., e Stefanucci, S. (2001). Introducing workflow management in software maintenance processes. In *Proceedings IEEE International Conference on Software Maintenance. ICSM 2001*, pages 441–450.
- Chiang, H. Y. e Lin, B. M. T. (2020). A decision model for human resource allocation in project management of software development. *IEEE Access*, 8:38073–38081.
- Coutinho, E. e Bezerra, C. (2021). Simulação de alocação de recursos em projetos de desenvolvimento de software utilizando teoria das filas. In *Anais do III Workshop em Modelagem e Simulação de Sistemas Intensivos em Software*, pages 30–39.
- França, B. e Neto, V. G. (2021). Opportunities for simulation in software engineering. In *Anais do III Workshop em Modelagem e Simulação de Sistemas Intensivos em Software*, pages 50–54, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Gomes, J. Z., Montenegro, J. L., Santos, J. C. d., Barbosa, J. L. V., e Costa, C. (2019). A strategy using continuous simulation to mitigate effort estimation risks in software projects. *IEEE Latin America Transactions*, 17(8):1390–1398.
- Gross, D. e Harris, C. (1998). *Foundamentals of Queuing Theory*. John Wiley Sons.