

SOFTWARE ARENA® COMO FERRAMENTA PARA CONSTRUÇÃO CIVIL

Samuel Santos Abadia

Bacharelanda do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA (samuels123@hotmail.com)

Agnaldo Antônio Moreira Teodoro da Silva

Professor Mestre do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA (eng.agnaldoantonio@icloud.com)

RESUMO

O objetivo deste artigo é apresentar a aplicabilidade do *software* Arena na indústria da construção civil. No contexto do processo construtivo, é cada vez mais necessário contar com mão de obra especializada e bem treinada para atender à demanda do mercado, especialmente no que se refere ao planejamento, gestão e controle do processo. Nesse sentido, o avanço tecnológico desempenha um papel fundamental ao trazer inovações para os processos construtivos. No presente trabalho, foram criados dois modelos de simulação com o objetivo de analisá-los e avaliar possíveis gargalos e erros em cada sistema. Essa abordagem permitiu validar a utilização do *software* Arena na indústria da construção. Os resultados obtidos revelaram tempos de espera e custos elevados em determinadas etapas dos processos simulados. No entanto, por meio da simulação, foi possível antecipar tais eventos e otimizar os processos propostos por meio de ações simples. A análise desses resultados foi facilitada graças à simulação, permitindo uma melhor compreensão dos gargalos e a identificação de soluções eficientes. Conclui-se, portanto, que o *software* Arena apresenta um valor significativo para a indústria da construção civil, fornecendo ferramentas que possibilitam a análise e otimização dos processos. A simulação revelou-se uma abordagem eficaz para antecipar eventos e melhorar a eficiência dos processos construtivos. Com base nesses resultados, é possível tomar decisões informadas, implementar melhorias e, conseqüentemente, obter um melhor desempenho e redução de custos na indústria da construção civil.

PALAVRAS-CHAVE: Processos construtivos; Gerenciamento de obras; *Software* Arena®; Simulação.

1 INTRODUÇÃO

Mudanças significativas ocorreram na indústria da construção nas últimas décadas. O processo construtivo exige cada vez mais mão de obra especializada e bem treinada para atender à demanda do mercado, principalmente no planejamento, gestão e controle do processo, para que a execução dos serviços tenha qualidade e produtividade adequadas.

O aumento da competitividade e exigência do cliente final no setor da construção civil faz com que as empresas procurem eliminar todas as deficiências na gestão dos processos construtivos e na gerência dos recursos humanos, visando aumentar sua produtividade e qualidade final de seu produto.

A ascensão tecnológica trouxe inúmeros avanços para a nossa vida cotidiana. O mesmo ocorreu com as empresas, que puderam se tornar mais ágeis, enxutas e efetivas, aumentando assim sua competitividade e produtividade. A redução de custos, a melhoria da produtividade, otimização e automação de processos, aumento do controle de qualidade, otimização da tomada de decisão diária; são alguns dos inúmeros aspectos onde a tecnologia desenvolve um papel primordial nos dias de hoje.

Com a atual busca pela modernização na construção civil, a mesma vem se modificando através de ações que buscam acompanhar a evolução tecnológica de outras indústrias, através da adaptação de seus processos. Seguindo esse raciocínio, a utilização de uma ferramenta computacional de simulação poderá contribuir significativamente para a modernização da construção civil.

Com o uso de tal ferramenta, será possível montar modelos que melhor definam a realidade dos processos construtivos em questão, servindo assim como ferramenta de auxílio na tomada de decisões.

Os objetivos deste trabalho de construção civil foram realizar simulações de rotinas na obra com o intuito de identificar melhorias e otimizações nos processos construtivos. As mudanças significativas na indústria da construção requerem uma mão de obra cada vez mais especializada e bem treinada, principalmente no que diz respeito ao planejamento, gestão e controle do processo. A competitividade crescente e a demanda do cliente final exigem que as empresas eliminem deficiências na gestão dos processos e na gerência dos recursos humanos, buscando aumentar a produtividade e a qualidade final do produto.

A ascensão tecnológica proporcionou avanços significativos em várias áreas da nossa vida, e as empresas da construção civil também têm se beneficiado com essas inovações. A redução de custos, o aumento da produtividade, a otimização e automação de processos, o controle de qualidade aprimorado e a melhoria na tomada de decisões diárias são apenas alguns dos aspectos em que a tecnologia desempenha um papel fundamental nos dias atuais.

Com a busca pela modernização na construção civil, é importante que o setor acompanhe a evolução tecnológica de outras indústrias, adaptando seus processos de acordo. Nesse sentido, a utilização de ferramentas computacionais de simulação, como o *software* arena, pode contribuir significativamente para a modernização do setor. Essa ferramenta permite a criação de modelos que representam de forma precisa a realidade dos processos construtivos em questão, auxiliando na tomada de decisões e proporcionando melhorias na produtividade, redução de gargalos e custos desnecessários.

2 GERENCIAMENTO DE OBRA

A gestão nada mais é do que organizar, orientar, organizar, executar e formular projetos para introduzir inovações e mudanças, agregar valor e otimizar prazos e recursos.

O segmento da construção civil envolve diversas atividades com grande quantidade de variáveis desenvolvendo-se em um ambiente dinâmico e mutável. A atribuição de gerenciar uma obra não é uma tarefa fácil e muita improvisação ainda é vista em canteiros ao redor do mundo (MATTOS, 2010).

Segundo Monteiro e Santos (2010), o gerenciamento de uma construção envolve a utilização de recursos materiais, humanos e financeiros, empregados de acordo com as suas atribuições previamente estabelecidas no escopo de trabalho com prazos e qualidade de execução a serem cumpridos, assegurando rapidez e economia no desenvolvimento do empreendimento.

A natureza da engenharia civil torna-se um ambiente hostil para os gestores. É difícil definir e controlar o escopo, o grande número de interdependências entre as atividades, as mudanças do projeto durante a execução, a necessidade de resposta rápida e as interfaces entre as várias disciplinas fornecem complexidade e escopo para mudanças imprevistas. Qualquer método de gestão enfrenta desafios.

A mudança no processo de gerenciamento da construção civil torna-se uma tarefa difícil devido a estarem sendo utilizadas as mesmas práticas ao longo de muito tempo. No entanto o desenvolvimento da capacidade de monitoramento, controle e a inclusão do processo de melhoria contínua na gestão de um empreendimento proporcionam a entrega de uma construção com mais qualidade, atendendo melhor as demandas do mercado e do cliente final.

O uso das novas metodologias das boas práticas de gerenciamento de obra torna-se um processo padrão com enfoque na melhoria contínua dos serviços trazendo mais qualidade no produto final.

Segundo Mattos (2010), as boas práticas proporcionam diversos benefícios, tais como o conhecimento do empreendimento, a identificação de situações desfavoráveis, a agilidade nas decisões, uma relação assertiva com o orçamento, a otimização da alocação de recursos, uma referência para o acompanhamento, a padronização dos serviços, metas bem definidas, a disposição de documentações e rastreabilidades, o registro de dados e históricos, e o estabelecimento de um ambiente profissional. Esses benefícios contribuem para a eficiência e eficácia do trabalho.

2.1.1 Tempo

O Gerenciamento de Tempo tem por finalidade primordial assegurar que o projeto seja concluído dentro do prazo previamente estipulado. O mesmo refere-se a um determinado planejamento e monitoramento das ações a serem tomadas ao longo do projeto. Assim como, em determinados mercados, tempo e prazo de entrega são elementos primordiais sobre qualquer outra característica do projeto, sendo considerada uma área cada vez mais fundamental no Gerenciamento de Projetos (OLIVEIRA, 2003).

Por fim, o uso e a análise regulares do cronograma possibilitarão a presença de possíveis surpresas e execução de ações corretivas em tempo.

O objetivo da gerência do tempo de projeto é descrever os processos necessários para o término do projeto, assegurando, dessa forma, que o mesmo cumpra com os prazos definidos em um cronograma de atividades, previamente estabelecidos (FORTES, 2011).

Os principais processos do gerenciamento de tempo são os seguintes:

- Definições das Atividades: Refere-se às atividades específicas que determinam o cronograma que precisa ser realizado para gerar cada aspecto tangível do projeto;
- Sequenciar Atividades: processo de identificação e registro de dependências entre atividades planejadas;
- Estimativa de Recursos de Atividade: estimativa do tipo e das quantidades dos recursos requeridos para executar cada atividade do cronograma;
- Estimativa de Duração de Atividade: estimativa do período que será necessário para conclusão individual de cada atividade do cronograma;
- Desenvolvimento do Cronograma: análise das sequências das atividades, suas dependências, durações e recursos requeridos para criar o cronograma;
- Controle do Cronograma: controle das alterações efetuadas no cronograma;

Pode-se concluir que o processo de gerenciamento do tempo em qualquer fase do empreendimento é de suma importância para garantir sua lucratividade e efetividade, gerando transtornos quando esse recurso não é bem gerenciado.

2.1.2 Mão de obra

Nota-se que a ausência de mão-de-obra no mercado faz com que as empresas atuantes na construção civil procurem novas estratégias, tais como investimento em capacitação e treinamentos desses trabalhadores, para que suas metas sejam alcançadas, quais sejam, entregar obras no prazo, com um elevado padrão de qualidade, com a finalidade de se obter o maior lucro possível e centrado na satisfação do cliente (SILVA, 2015).

A mão de obra é um dos pontos que mais pode interferir no processo de construção. Tosta (2013) afirma que, geralmente, observa-se que, no mercado de trabalho, a qualidade dos recursos humanos é, incontestavelmente, uma das principais causas de sucesso ou fracasso de uma empresa. Apesar disso, nota-se que determinados empreendimentos contratam e selecionam o funcionário baseados exclusivamente no salário mais baixo que irá pagar. Essa política possibilita uma economia de curto prazo. No entanto, a médio e longo prazo o aumento do custo é notório.

Presente do começo ao fim de qualquer projeto, esse recurso humano se faz indispensável para a conclusão do mesmo, portanto um bom dimensionamento como uma boa decisão no momento de sua contratação faz total sentido quando falamos de sucesso na execução do projeto.

2.1.3 Custos e orçamentação

Após realizar uma listagem detalhada das atividades de um projeto, pode-se definir quanto este custará, quanto serão as despesas e quando os recursos estarão disponíveis para a obra.

A partir do orçamento o gestor pode definir quem estará envolvido no projeto – fornecedores – os recursos necessários e o tempo de entrega do produto. O orçamento deve ser feito com o maior nível de detalhes possível, pois é o que definirá se o projeto será viável ou não do ponto de vista financeiro e econômico, e se não afetará o lucro do empreendedor.

Mattos (2006) cita que o custo está diretamente relacionado à:

- Definições técnicas: projetos de diversas áreas, como o projeto arquitetônico, estrutural, de instalações, entre outros que são compostos de

plantas baixas, cortes, detalhes que permitem maior destaque, tabelas, quadros, etc. e especificações técnicas que definem qualitativamente os materiais que serão empregados, padrões de qualidade e aceitação dos serviços, ensaios a serem realizados, resistências dos materiais e outros.

- Quantitativos dos serviços: uma etapa muito importante nos orçamentos, pois um erro pode acarretar falta de recursos, excedendo um orçamento previsto ou ter como consequência a inviabilidade de uma obra. O levantamento de quantidade é realizado através de projetos já especificados acima, onde são calculados áreas (pintura), volumes (concreto), pesos (aço), quantidades lineares (tubulação) dos serviços através das dimensões e características técnicas apresentadas, sendo que alguns serviços são adimensionais, ou seja, são calculados pela contagem, por exemplo, número de torneiras, luminária e outros. É de extrema importância o memorial de cálculo para possíveis conferências, inclusive por outras pessoas que não realizaram o levantamento.
- Produtividade: reflete efeitos diretos na composição de custos. Por exemplo, a mão de obra (servente) para execução do serviço de demolição de piso cimentado pelo TCPO9 – Tabela de Composições de Preços para Orçamentos - são necessárias 1,30 h/m², pelo Informador das Construções são necessárias 1,10 h/m², assim, essa diferença de índices pode ser sanada através de levantamentos reais em campo, apropriando os índices as empresas executoras dos serviços podem otimizar custos em relação a produtividade ou podem propor metas de desempenho para as equipes.
- Cotação dos preços dos insumos: para execução direta dos serviços de uma obra, são necessários os materiais, equipamentos e mão de obra que são os insumos de uma composição de um serviço. Os materiais, em algumas obras de edificações, representam muitas vezes mais da metade do custo unitário de um serviço, dessa forma, é importante uma maior atenção para cotação desses insumos.

2.2 CANTEIRO DE OBRAS

Um canteiro de obras é uma área física destinada à execução de atividades relacionadas à construção de edifícios, infraestrutura e outras estruturas. É um local onde ocorrem todas as etapas do processo construtivo, desde o planejamento inicial até a conclusão da obra. O canteiro de obras serve como base operacional para a equipe de construção e protege os equipamentos, materiais e trabalhadores necessários para realizar o projeto. O canteiro de obras é geralmente organizado de acordo com a natureza e a sequência das atividades de construção. Pode ser dividido em várias áreas funcionais, incluindo:

- Áreas operacionais: São as áreas onde ocorrem as principais atividades de construção, como escavação, fundações, estruturação, instalações elétricas e hidráulicas, acabamentos, entre outras. Cada uma dessas áreas é designada para uma etapa específica do processo construtivo.
- Áreas de armazenamento: São destinadas ao armazenamento de materiais, como areia, brita, cimento, aço, madeira, tubos, entre outros. Essas áreas devem ser organizadas de maneira adequada, garantindo a segurança e fácil acessibilidade aos materiais necessários para a obra.
- Áreas de apoio: Compreendem espaços destinados ao suporte das atividades da obra, como escritórios, salas de reunião, almoxarifados, vestiários, refeitórios e sanitários para os trabalhadores. Essas áreas visam

proporcionar conforto, bem-estar e condições adequadas para os profissionais envolvidos na construção.

- Áreas de circulação: São os espaços destinados ao trânsito de pessoas, equipamentos e veículos dentro do canteiro de obras. Devem ser interativos de forma a permitir uma movimentação eficiente e segura, evitando congestionamentos e garantindo a integridade física de todos.

De acordo com a NBR 12284 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), um canteiro de obras é definido como "o conjunto de áreas destinadas à execução e apoio dos trabalhos da indústria da construção, dividido em áreas operacionais e áreas de vivência".

Também segundo o Manual de Obras Públicas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), um canteiro de obras é definido como "o conjunto de áreas destinadas à execução e apoio dos trabalhos da construção civil, incluindo áreas administrativas, áreas operacionais, áreas de vivência, áreas de estoque de materiais e áreas de estocagem de equipamentos".

2.2.1 Planejamento

O planejamento implica necessariamente em organizar o canteiro de obra, dimensionar e administrar os recursos humanos bem como os materiais, fornecer e gerenciar os equipamentos, estabelecendo metas, identificando e atuando sobre as principais causas dos problemas que surgirão. (GUTSCHOW, 1999).

É notório que o planejamento demanda de tempo para a sua elaboração, especifica a necessidade de profissionais com experiência no ramo, representa um trabalho intenso, e, ademais, deve ser desenvolvido no canteiro, empregando as equipes mobilizadas. No caso do planejamento vir a ser elaborado nos escritórios centrais das construtoras, por equipes afastadas dos problemas a serem enfrentados, apresentará imperfeições (MATTOS, 2010).

Maximiano (1995) reforça e complementa os argumentos sobre a importância do planejamento ao comentar que os processos fiquem sem controles mostrando os caminhos a seguir, evitando e se preparando para eventuais surpresas. Destaca ainda, três importantes benefícios, sendo eles, a permanência das decisões, o equilíbrio e o melhor desempenho.

O primeiro benefício é saber as medidas a serem tomadas com antecedência e analisá-las. O segundo benefício é garantir um plano de ação regular para se preparar para emergências e desastres. O terceiro benefício é ter um melhor desempenho, que é porque as pessoas podem conhecer os fatos com antecedência, porque as pessoas serão capazes de saber com antecedência o que devem fazer e os problemas e situações que irão encontrar.

2.3 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

Ferramenta computacional é um *software* ou conjunto de programas organizados para auxiliar na realização de tarefas específicas ou resolver problemas em um ambiente computacional. Essas ferramentas são projetadas para automatizar, facilitar ou melhorar o desempenho de uma ampla gama de atividades, desde análise de dados, modelagem e simulação, até processamento de texto, criação de gráficos, programação e muito mais.

De acordo com Franks e Johnson (2017), uma ferramenta computacional é "um *software* ou programa de computador projetado para auxiliar na execução de tarefas específicas, automatizar processos ou fornecer recursos adicionais para a realização de determinadas atividades". Essas ferramentas são desenvolvidas com o objetivo de facilitar

e agilizar as tarefas realizadas em um ambiente computacional, fornecendo funcionalidades especializadas para campos como engenharia, ciências da computação, medicina, entre outros.

Segundo Souza e Silva (2018), uma ferramenta computacional é definida como "um *software* ou programa de computador projetado para auxiliar na execução de tarefas específicas, automatizar processos ou fornecer recursos adicionais para a realização de determinadas atividades". Essas ferramentas são desenvolvidas com o objetivo de facilitar e agilizar as tarefas realizadas em um ambiente computacional, abrangendo diversas áreas de aplicação, como análise de dados, simulação, design, entre outras.

A utilização de ferramentas computacionais tem desempenhado um papel fundamental na pesquisa científica. Segundo Smith e Jones (2019), essas ferramentas oferecem recursos poderosos para análise de dados, simulação de sistemas complexos e modelagem de fenômenos físicos. Por exemplo, *softwares* de processamento estatístico, como o SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), permitem aos investigadores realizar análises avançadas e identificar padrões em conjuntos de dados de grande escala. No campo da engenharia civil, as ferramentas computacionais têm sido amplamente utilizadas para a realização de simulações e modelagens de estruturas. Conforme destacado por Garcia et al. (2020), *softwares* como o SAP2000 e o ANSYS fornecem recursos avançados para a análise de estresse, deformações e comportamento estrutural. Essas ferramentas permitem aos engenheiros avaliar a segurança e o desempenho de projetos antes mesmo de sua construção física, otimizando processos de projeto e riscos de segurança. Além disso, no campo da biologia molecular, ferramentas computacionais têm sido utilizadas para a análise de sequências genômicas e simulação de moleculares. Conforme mencionado por Brown e Smith (2018), *softwares* como o BLAST (Basic Local Alignment Search Tool) permitem a comparação rápida de sequências de DNA e proteínas, auxiliando na identificação de genes e na compreensão de sua função. Essas ferramentas computacionais têm sido essenciais para avançar nossa compreensão dos processos biológicos e acelerar o desenvolvimento de novos medicamentos.

No campo da inteligência artificial, ferramentas computacionais como redes neurais artificiais têm sido amplamente utilizadas para o processamento de grandes volumes de dados e tomada de decisões automatizadas. Segundo Chen (2021), essas ferramentas têm sido aplicadas em diversas áreas, desde reconhecimento de padrões e visão computacional até sistemas de recomendação e diagnóstico médico. O uso de ferramentas de inteligência artificial tem potencial para transformar várias tecnologias e sustentadas o avanço científico em diferentes domínios.

2.3.1 Simulação

Os avanços tecnológicos e a procura por inovações para aprimorar a qualidade do processo construtivo vêm trazendo, ao cotidiano, estudos para a introdução de ferramentas computacionais nesse âmbito. Os benefícios na gestão incorridos com a aplicação destas ferramentas são notáveis, desde que o seu uso seja executado de forma planejada e adequadamente qualificada.

Como importante recurso computacional, devemos citar a utilização de *softwares* de simulação. Segundo Prado (2010), simulação é uma técnica que, usando o computador digital, procura montar um modelo que melhor represente o sistema em estudo. Ou seja, simulação é uma técnica que procura imitar o funcionamento de um sistema real.

A simulação antes da execução do projeto é de grande importância, pois, a partir do estudo de modelagem de sistemas, poderemos definir os recursos de forma otimizada, e a melhor opção de fluxo. Podemos também identificar um maior número de gargalos e um menor gasto para corrigi-los assim como uma maior efetividade nesse processo

A simulação computacional de sistemas, ou apenas simulação, consiste na utilização de certas técnicas matemáticas, empregadas em computadores, as quais permitem imitar o funcionamento de, praticamente qualquer tipo de operação ou processo do mundo real, é o estudo do comportamento de sistemas reais através do exercício de modelos.

A simulação pode ser entendida como um processo que abrange não somente a elaboração do modelo, mas todo o procedimento experimental que se segue, no qual se busca descrever o modo que o sistema se comporta, além de desenvolver teorias e hipóteses que consideram as observações efetuadas.

Com ela também é possível examinar comportamentos do presente, ou até mesmo prever os possíveis comportamentos futuros, as consequências causadas no sistema ou nos métodos usados na operação (PARAGON, 2021).

Existem diversas definições para a simulação. Dentre elas, podemos citar a de Pegden (1990) que diz “a simulação é um processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação”.

Desta maneira, podemos entender a simulação como um processo amplo que engloba não apenas a construção do modelo, mas todo o método experimental que se segue, buscando:

- Descrever o comportamento do sistema;
- Construir teorias e hipóteses considerando as observações efetuadas;
- Usar o modelo para prever o comportamento futuro, isto é, os efeitos produzidos por alterações no sistema ou nos métodos empregados em sua operação.

Simulação pode ser considerada como um processo de construção do modelo matemático do sistema em estudo e a realização de experimentos, a sua maioria nos ambientes virtuais de computadores.

Isso garante que os processos existentes não tenham interferência nem sejam perturbados, e a análise do projeto pode ser realizada sem realmente construir o projeto.

2.4 SOFTWARE ARENA®

Existem vários softwares disponíveis no mercado para simulação de sistemas, mas o *software arena* se destaca entre eles. Este oferece um ambiente gráfico capaz de integrar todos os recursos e processos, fazer a modelagem, administrar níveis de inventários, criar animações e desenhos, previsão financeira, montagem de gráficos, análises e estatísticas de resultados.

Alguns exemplos de setores que já utilizam esta ferramenta de simulação :logística e Cadeia de Suprimentos,o arena é frequentemente empregado para modelar e otimizar operações logísticas, como armazenamento, distribuição, transporte e gerenciamento de cadeias de suprimentos. Esses estudos visam melhorar a eficiência operacional, reduzir custos e analisar o impacto de diferentes estratégias logísticas.Na indústria manufatureira, o Arena é utilizado para simular e otimizar o fluxo de produção, identificar gargalos, analisar o impacto de diferentes layouts de fábrica, programar a produção e avaliar estratégias de controle da produção, como o just-in-time (JIT).Atendimento ao Cliente e Serviços, empresas de serviços, como call centers, bancos e hospitais, utilizam o Arena para simular o fluxo de atendimento aos clientes, otimizar a alocação de recursos, analisar a capacidade de atendimento, avaliar o tempo de espera e melhorar a qualidade do serviço. Aeroportos e Transporte,o Arena é aplicado para modelar e simular operações aeroportuárias, como movimentação de passageiros, fluxo de bagagem, operação de pistas e planejamento de capacidade. Além disso, é utilizado para analisar sistemas de transporte em geral, como

redes de trânsito e rotas de transporte público. Saúde e Medicina, na área de saúde, o Arena é utilizado para simular o fluxo de pacientes em hospitais, analisar o impacto de diferentes políticas de atendimento, otimizar o agendamento de consultas e cirurgias, e avaliar o desempenho de sistemas de saúde em situações de emergência.

O *software* Arena é a ferramenta para simulação de eventos discretos mais utilizado no mundo. (PARAGON, 2021). Com um ambiente gráfico integrado, o *software* possui recursos para análise estatística, modelagem de processos, animação e análise de resultados. O Arena é uma ferramenta para análise de cenários e realizar simulações dos seus processos. À medida que aumenta a complexidade, a aleatoriedade passa a ser um componente essencial para entender o desempenho do sistema.

Mediante a análise dinâmica e a interação sinérgica dos elementos do sistema, é factível discernir pontos de deficiência, otimizar as condições operacionais, vislumbrar a extensão das filas, avaliar a alocação de recursos e compreender a dinâmica do sistema referido. Empregando fluxogramas como ferramenta, a modelagem dos projetos torna-se notoriamente mais acessível, haja vista que todo o processo de construção do modelo se realiza por meio da disposição estruturada de blocos e caixas.

O *software* arena fornece modelos alternativos e intercambiáveis de modelagem de simulação gráfica e módulos de análises que podem ser combinados para criar uma variedade de modelos de simulação

O Grupo Paragon *Software*®, afirma que o arena é constituído por muitos módulos que oferecem a modelagem do sistema de acordo com a necessidade do usuário, esses módulos são chamados de templates, conjunto de elementos interligados que ajudam a visualizar o cenário que está sendo simulado através de um desenho de fluxograma.

Os principais templates têm suas funções conforme descrito abaixo:

- Create: Utilizado no início do processo, responsável pela entrada das entidades no sistema de acordo com o tempo;
- Process: Usado para simular alguma operação interna do processo (tempo gasto para o processamento do operador);
- Decide: Responsável pela fragmentação dos processos, onde as entidades tomam diferentes caminhos;
- Batch: Responsável por criar acumulação de entidades;
- Separate: Usado para desfazer o acúmulo provisório criado pelo template Batch;
- Assign: Responsável pela alteração ou associação dos valores às variáveis, atributos de entidades e mudar o desenho das entidades;
- Record: Responsável pela coleta de dados em certos pontos do sistema;
- Dispose: Responsável pela retirada de entidades do sistema.

Entre as vantagens atribuídas ao *software* arena se destaca a melhor visibilidade na implementação de um sistema ou da mudança de um processo, a oportunidade de testar novos procedimentos e métodos sem precisar parar a operação atual, diagnosticar e resolver problemas, reduzir, eliminar gargalos, custos operacionais, melhorar a previsão financeira, tempos de entrega, aumentar o lucro através de operações melhoradas.

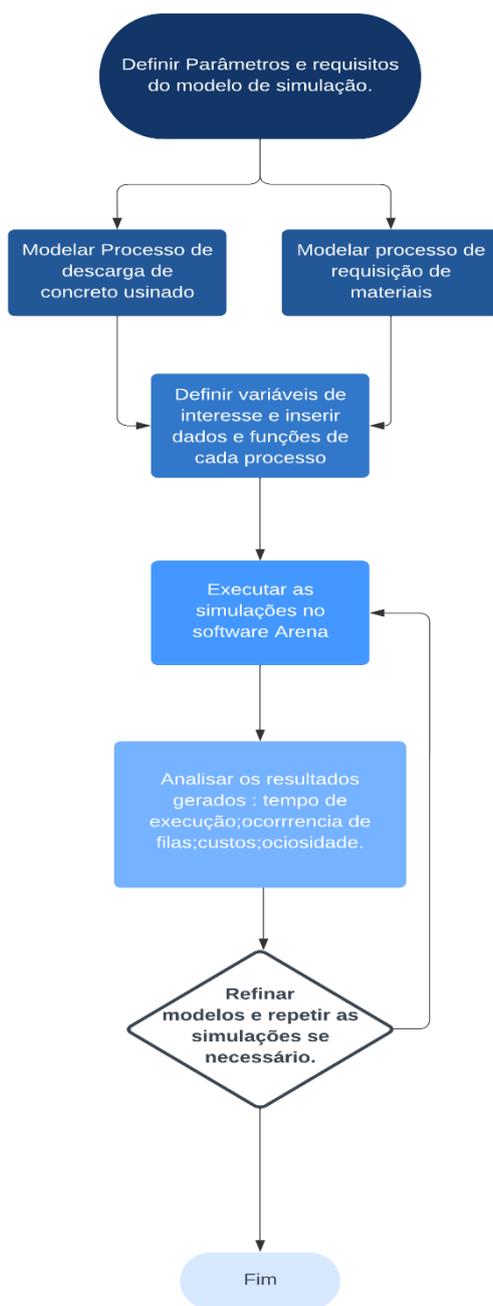
3 METODOLOGIA

Com o objetivo de demonstrar a eficácia e validação do *software* arena na área da construção civil, foram selecionados dois procedimentos que são frequentemente realizados em um canteiro de obras. Na primeira simulação, utilizou-se um modelo para a

descarga de concreto usinado durante a concretagem de elementos estruturais de uma edificação, considerando todos os processos necessários para receber aprovação e efetuar a descarga do material mencionado. Na segunda simulação, adotou-se um modelo para a liberação de materiais por meio de requisição para a execução de serviços, abrangendo desde a solicitação pelo prestador de serviço até a atualização no controle de estoque. Por meio desses dois modelos adotados, busca-se avaliar o tempo de execução, ocorrência de filas, custo por hora de ociosidade e identificar eventuais gargalos no processo.

Para melhor compreensão do processo da metodologia empregada no presente trabalho a figura 1 apresenta um fluxograma que descreve as etapas de elaboração dos modelos citados:

Figura 1 - Fluxograma elaboração dos modelos



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA,2023

Para a modelagem definiram-se alguns parâmetros da replicação necessários para a execução da simulação como mostra a figura 2:

Figura 2 - Parametrização para simulação

Data e Hora de Início: 2 de junho de 2023 18:28:56

Período de Warm-up: 0.0 Hours

Duração da Replicação: 8 Hours

Horas por Dia: 8

Condição de Parada:

Unidade de Tempo Base: Minutes

Replicações Paralelas

Rodar Replicações em Paralelo

Número de Processos em Paralelo: 8

Arquivos Entrada de Dados das Replicações Paralelas:

Arquivo de Dados

Adicionar

Editar

Remover

Desabilitar Apagamento das Pastas Auto Geradas

Inicializar Entre Replicações

Estatísticas

Sistema

Fonte:SOFTWARE ARENA,2023

Podemos evidenciar que os parâmetros definidos para execução do modelo foi de 30 repetições, em um intervalo de 8 horas e com duração de 8 horas por dia, são parâmetros necessários para simulação e também que nos dão um referencial maior na conferência dos resultados obtidos.

3.1 SIMULAÇÃO 1

O processo selecionado tem início com a chegada do caminhão betoneira no canteiro de obras, seguindo o fluxo operacional típico na indústria da construção civil. A nota de recebimento do concreto passa por uma conferência preliminar realizada por um colaborador do almoxarifado. Caso seja aprovada nessa primeira etapa de conferência, é feita a coleta de uma amostra do concreto, que posteriormente é submetida ao teste de consistência conhecido como "Slump Test". Após aferir o valor do slump do concreto, é concedida a autorização para o lançamento. Após o lançamento do concreto, o caminhão betoneira é liberado mediante a assinatura na nota de recebimento.

Os módulos utilizados no *software arena* encontram-se no Quadro 1, com suas respectivas funções:

Quadro 1 - Descrição dos módulos do Arena

Símbolo	Nome	Descrição
	Início do processo	Módulo para iniciar o processo, definindo o tipo de entidade e sua quantidade em determinado tempo
	Processo	Representa o processo em si, onde é atribuído à entidade seu tempo de processamento.
	Processo de decisão	Módulo de tomada de decisão, utilizada para criar decisões baseadas em condições ou probabilidades.
	Término do processo	Módulo que representa o ponto final para as entidades.

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA,2023

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos a partir de experiências prévias realizadas pela equipe de pesquisa, bem como por meio da revisão de trabalhos acadêmicos relevantes na área. A experiência prévia permitiu o conhecimento das práticas comuns e dos desafios enfrentados no dia a dia da construção civil. Além disso, a revisão dos trabalhos acadêmicos proporcionou uma base sólida de conhecimento, permitindo a análise comparativa dos resultados obtidos neste estudo com os achados de pesquisas anteriores. Essa abordagem combinada contribuiu para a robustez e confiabilidade dos dados utilizados na análise e nas conclusões apresentadas neste artigo científico.

De uma maneira geral, os dados de entrada mais importantes para simulação são tempos de execução de atividades, quantidade de funcionarios envolvidos, quantidades de repetições do processo.

Segundo o levantamento dos dados obtidos e analise do processo envolvido chegou -se a média de tempo gasto em cada parte do processo, ilustrado no Quadro 2 abaixo:

Quadro 2 - Tempo e função dos processos

EVENTO	FUNÇÃO ESTATÍSTICA	TEMPO (m)
Chegada Caminhão	EXPO(20)	20
Conferência Notas	TRIA(1,1,5)	1 à 5
Slump Test	TRIA(5,7,10)	5 à 10
Lançamento Concreto	TRIA(15,20,30)	15 à 30
Espera Verificação	TRIA(1,1,10)	10

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA,2023

Na simulação,também foi considerado o custo da mão de obra dos funcionários envolvidos no processo descrito. Devido à utilização da versão acadêmica do *software*, houve restrição na inserção dos custos específicos. Portanto, foi necessário utilizar uma

média dos valores de hora trabalhada para as diferentes funções envolvidas. De acordo com o Quadro 3, referente ao estado de Goiás, os valores por categoria são:

Quadro 3 - Pisos salariais das categorias profissionais

FUNÇÃO	PISO MENSAL	VALOR POR HORA
AJUDANTE/SERVENTE	1.236,40	5,62
PROFISSIONAL CAT. "A"	1.333,20	6,06
PROFISSIONAL CAT. "B" e "C"	2.098,80	9,54
APONTADOR E ALMOXARIFE	2.098,80	9,54
ENCARREGADO	2.956,80	13,44
ADM. DE OBRAS	2.329,80	10,59

Fonte: SINDICATO DA INDUSTRIA DA CONSTRUCAO NO ESTADO DE GOIAS,2022/2023

Analisando a tabela acima, chegou-se ao valor de R\$ 7.07/Hora, considerando que no processo os profissionais envolvidos são ajudantes/serventes; Profissional CAT. "A" e Almojarife. Esse valor vai ser importante para entendermos o custo por tempo ocioso durante o processo.

A distribuição de funcionários por processo se deu conforme Quadro 4:

Quadro 4 - Funcionários processo

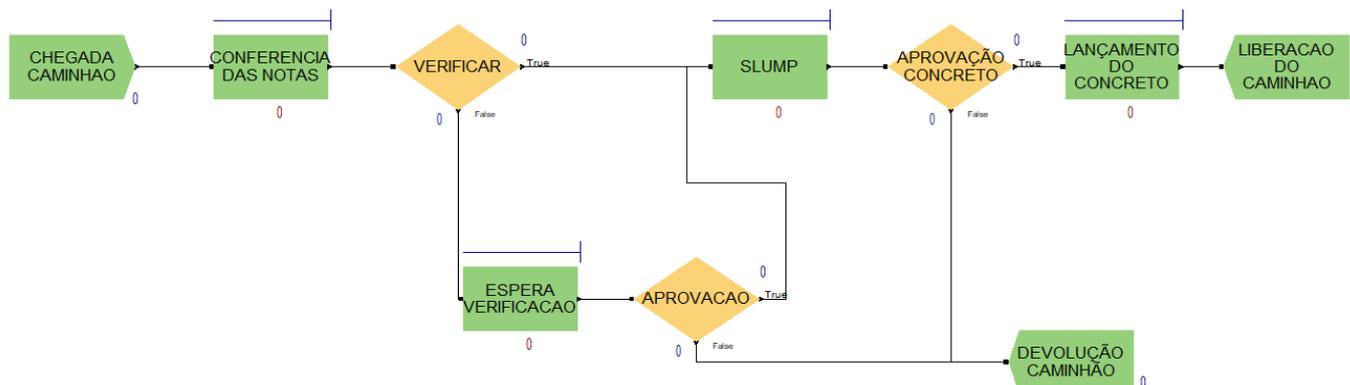
Processo	Cargo	Quantidade
Conferência Nota/Espera Verificação	Almojarife	1
Slump Test	Almojarife	1
Lançamento concreto	Servente/Profissional CAT. "A"	10

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA,2023

3.1.1 Apresentação no software

Para montar os modelos de simulação, o Arena utiliza programação visual, em que o fluxo do sistema é criado na forma de um fluxograma, que corresponde à ocorrência de eventos a uma entidade que flui pelo sistema que está sendo modelado. Assim, cada bloco do fluxograma representa um evento do sistema. Estando organizadas todas as informações sobre a atividade crítica, bem com estruturado o modelo para o serviço de concretagem, ocorreu a implantação dos modelos no programa Arena. O modelo para o serviço pode ser visto na figura 3:

Figura 3 - Modelo Fluxo Arena



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2023

3.2 SIMULAÇÃO 2

O processo construtivo da segunda simulação segue um esquema padrão de entrega de materiais para a execução de serviços. Inicialmente, ocorre o levantamento dos materiais necessários por parte do funcionário responsável. Em seguida, é feita a requisição dos materiais ao almoxarifado, que realiza a conferência do estoque disponível. Dependendo da situação, pode ocorrer a necessidade de compra de materiais ou a entrega dos materiais já disponíveis, seguida pela conferência realizada pelo funcionário responsável. Por fim, é realizada a baixa no estoque para registrar a utilização dos materiais.

Os módulos utilizados no software Arena encontram-se no Quadro 1, já citado anteriormente na simulação 1 com suas respectivas funções. Segundo o levantamento dos dados obtidos e análise do processo envolvido chegamos a média de tempo gasto em cada parte do processo, ilustrado na Quadro 5 abaixo:

Quadro 5 - Tempo e função dos processos

EVENTO	FUNÇÃO ESTATÍSTICA	TEMPO (m)
Levantamento Material	EXPO(40)	40
Requirimento Almoxarifado	TRIA(1,1.5,5)	1 à 5
Verificação Estoque	TRIA(10,15,20)	10 à 20
Conferência	TRIA(5,7,10)	5 à 10
Baixa Estoque	TRIA(1,4,5)	1 à 5
Espera Compra	TRIA(60,100,180)	60 à 180

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2023

Na simulação, foi considerado o custo da mão de obra dos funcionários envolvidos no processo descrito. Devido à utilização da versão acadêmica do *software*, houve restrição na inserção dos custos específicos. Portanto, foi necessário utilizar uma média dos valores de hora trabalhada para as diferentes funções envolvidas. De acordo com a Tabela 2 já apresentada. Analisando a tabela chegamos ao valor de R\$ 9,54/Hora, considerando que no processo os profissionais envolvidos Profissional CAT. “B” e Almoxarife. Esse valor vai ser importante para entendermos o custo por tempo ocioso durante o processo.

A distribuição dos funcionários por processo se deu conforme Quadro 6 abaixo:

Quadro 6 - Funcionários processo

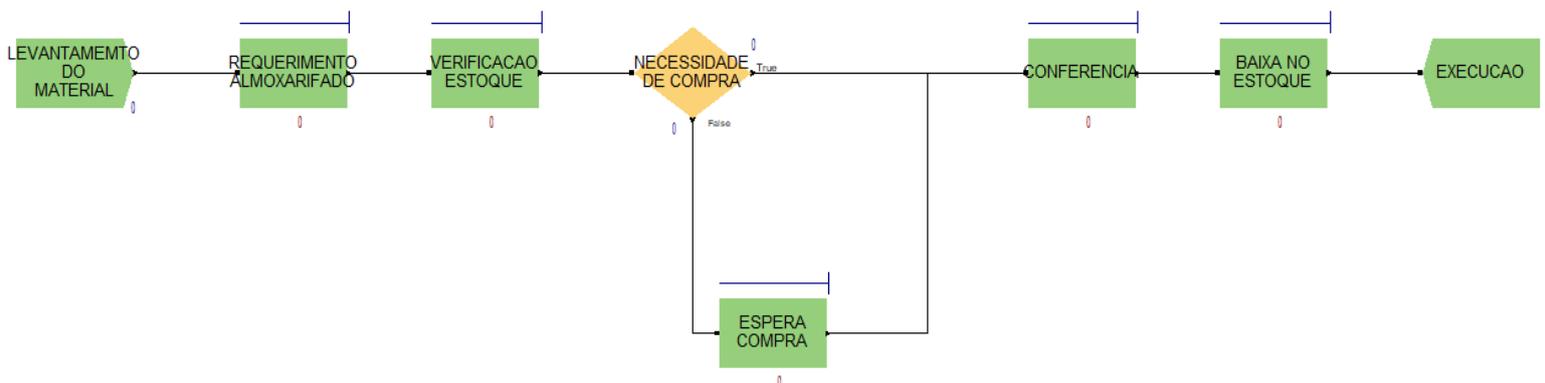
Processo	Função	Quantidade
Conferência	Profissional CAT. "B"	1
Levantamento do Material	Profissional CAT. "B"	
Requerimento almoxarifado	Almoxarife	1
Verificação Estoque	Almoxarife	
Baixa Estoque	Almoxarife	

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA,2023

3.2.1 Apresentação no software

Seguindo o que já foi descrito modelamos no *software* arena o processo proposto para análise conforme figura 4:

Figura 4 - Modelo Fluxo Arena



Fonte:AUTORIA PRÓPRIA,2023

4 RESULTADOS

A simulação de processos na construção civil com o programa Arena oferece uma variedade de resultados, incluindo:

- Número mínimo, médio e máximo de entidades que permanecem em uma fila/sistema;
- Tempo mínimo, médio e máximo em que uma entidade permanece em uma fila/sistema;
- Número médio de entidades processadas por um recurso em um determinado período;
- Nível mínimo, médio e máximo de ocupação de um recurso;
- Número de recursos necessários para processar ou transportar um grupo de entidades em um determinado período de tempo.

Esses resultados fornecem uma visão quantitativa do desempenho do processo simulado na construção civil. Eles ajudam a identificar gargalos, avaliar tempos de espera,

analisar a utilização de recursos e determinar a capacidade necessária para atender às demandas do projeto. Com base nesses dados, é possível otimizar a eficiência do processo, melhorar o planejamento e tomar decisões controladas para maximizar a produtividade e minimizar os custos na construção civil.

Os relatórios do *software* Arena são altamente personalizáveis e adaptáveis às necessidades do usuário. Eles contêm informações essenciais para analisar o desempenho e o comportamento do sistema simulado.

No geral, os relatórios do *software* Arena são abrangentes, detalhados e projetados para fornecer uma análise aprofundada dos sistemas simulados. Eles auxiliam na identificação de problemas, na otimização de processos, na tomada de decisões estratégicas e no aprimoramento contínuo do desempenho operacional.

- VA Time – é o tempo de valor agregado, ou seja, tempo gasto apenas do trabalho, desconsiderando esperas;
- Wait Time – é o tempo de espera, tempo acumulado em filas de espera;
- Total Time – é o tempo em que a entidade fica no sistema, ou seja, tempo total gasto para o processo.

4.1 SIMULAÇÃO 1

Primeiro Relatório temos a relação de tempo gasto em cada processo considerando os tempos predefinidos para cada processo podemos avaliar se o sistema está trabalhando sem nenhuma falha ou se existe algum gargalo a ser corrigido, conforme Figura 5:

Figura 5 - Relatório de tempo gasto em cada etapa

Time per Entity						
VA Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CONFERENCIA DAS NOTAS	2.2848	0,08	1.9122	2.7706	1.0002	4.9239
ESPERA VERIFICACAO	3.7311	0,74	0.00	8.5554	0.00	9.2388
LANÇAMENTO DO CONCRETO	21.8386	0,34	20.2157	23.8544	15.1482	29.6866
SLUMP	7.3749	0,08	6.7536	7.7979	5.0548	9.9401
Wait Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CONFERENCIA DAS NOTAS	0.1919	0,06	0.00	0.5538	0.00	5.1359
ESPERA VERIFICACAO	0.03811776	0,08	0.00	1.1435	0.00	4.5741
LANÇAMENTO DO CONCRETO	31.7872	8,72	3.7920	86.7120	0.00	207.26
SLUMP	1.7656	0,28	0.3686	3.1738	0.00	22.0091
Total Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CONFERENCIA DAS NOTAS	2.4767	0,10	2.0055	3.2048	1.0002	9.4099
ESPERA VERIFICACAO	3.7692	0,77	0.00	8.5554	0.00	11.2803
LANÇAMENTO DO CONCRETO	53.6258	8,73	24.7606	108.01	16.5923	225.73
SLUMP	9.1406	0,29	7.5038	10.6285	5.0548	28.1032

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA,2023

Neste exemplo podemos evidenciar que o Lançamento do concreto tem um tempo de espera elevado, chegando a uma média de 31.78 minutos, que não agrega valor ao produto final.

Na figura 6 temos o relatório das filas geradas em cada processo:

Figura 6 - Relatório de filas

Queue						
Time						
Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CONFERENCIA DAS NOTAS.Queue	0.1915	0,06	0.00	0.5538	0.00	5.1359
ESPERA VERIFICACAO.Queue	0.03811776	0,08	0.00	1.1435	0.00	4.5741
LANÇAMENTO DO CONCRETO.Queue	33.2594	8,82	3.7920	83.4994	0.00	207.26
SLUMP.Queue	1.7433	0,27	0.3520	3.0227	0.00	22.0091

Fonte : AUTORIA PRÓPRIA,2023

Analisando este relatório chegamos a conclusão que o lançamento de concreto detém a maior média de fila do sistema chegando a 33.25 minutos de espera, porém analisando os valores máximos admitidos durante todo o processo de repetição temos evidenciado que o slump representa um valor maximo alto de 22.09 minutos, sendo assim um gargalo do processo em determinados momentos, as possíveis soluções seriam o uso de mais uma bomba lançadora e de em momentos de filas mais um profissional para executar o slump teste.

No ultimo relatório analisado temos o custo mão de obra/tempo conforme figura 7:

Figura 7 - Relatório Custo/Tempo

Cost per Entity

Wait Cost Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CONFERENCIA DAS NOTAS	0.02261478	0,01	0.00	0.06526028	0.00	0.6052
ESPERA VERIFICACAO	0.00449154	0,01	0.00	0.1347	0.00	0.5390
LANÇAMENTO DO CONCRETO	3.7456	1,03	0.4468	10.2176	0.00	24.4227
SLUMP	0.2081	0,03	0.04343118	0.3740	0.00	2.5934
Total Cost Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CONFERENCIA DAS NOTAS	0.2918	0,01	0.2363	0.3776	0.1179	1.1088
ESPERA VERIFICACAO	0.4441	0,09	0.00	1.0081	0.00	1.3292
LANÇAMENTO DO CONCRETO	6.3189	1,03	2.9176	12.7270	1.9551	26.5984
SLUMP	1.0771	0,03	0.8842	1.2524	0.5956	3.3115

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA,2023

Na análise de custos, consideramos o tempo de espera, que, por não agregar valor ao sistema, torna-se um obstáculo a ser superado a ser corrigido visando à otimização do orçamento. No caso específico do processo de lançamento de concreto, observamos que quanto maior a fila e o tempo de espera, maior é o custo. Isso resulta em um gasto adicional médio de R\$ 3,74 e pode chegar a um valor máximo de R\$ 24,42. É importante ressaltar que, mesmo que a simulação tenha sido realizada apenas com 30 repetições, o efeito não é significativo. No entanto, é sempre necessário considerar os custos a longo prazo.

4.2 SIMULAÇÃO 2

No segundo exemplo escolhido para simulação é de importancia analisar os relatórios de tempo e filas do processo, na figura 8 temos o relatório de tempo gasto por cada etapa do processo:

Figura 8 - Relatório de tempo gasto em cada etapa

Time per Entity						
VATime Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
BAIXANO ESTOQUE	3.3813	0,08	2.9081	3.7557	1.0593	4.9691
CONFERENCIA	7.2983	0,10	6.8612	7.9764	5.1062	9.7447
ESPERACOMPRA	112.90	13,10	0.00	164.67	0.00	168.17
REQUERIMENTO ALMOXARIFADO	2.5085	0,09	2.0943	3.1054	1.0574	4.8319
VERIFICACAO ESTOQUE	14.9991	0,19	13.9877	15.9200	10.4306	19.8191
Wait Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
BAIXANO ESTOQUE	7.5219	2,15	0.00	25.6812	0.00	65.1313
CONFERENCIA	0.07618113	0,06	0.00	0.7774	0.00	5.0094
ESPERACOMPRA	21.9918	10,35	0.00	82.8117	0.00	170.35
REQUERIMENTO ALMOXARIFADO	5.3310	1,60	0.7812	21.1384	0.00	68.3656
VERIFICACAO ESTOQUE	2.3601	0,59	0.00	5.8089	0.00	19.2848
Total Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
BAIXANO ESTOQUE	10.9032	2,13	3.3980	29.0676	1.1941	69.2080
CONFERENCIA	7.3745	0,12	6.8612	8.2691	5.1062	13.5310
ESPERACOMPRA	134.90	18,41	0.00	216.74	0.00	314.00
REQUERIMENTO ALMOXARIFADO	7.8394	1,58	3.3010	23.3175	1.0904	70.0339
VERIFICACAO ESTOQUE	17.3592	0,62	14.5383	20.7890	10.4306	35.6874

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA,2023

Com base nos resultados obtidos por meio da simulação deste processo, é possível observar que a necessidade de aguardar pela compra resulta em um alto tempo de espera, com uma média de 21,99 minutos e valores máximos de 170,35 minutos. Essa espera configura-se como um gargalo operação, indicando que a programação de um estoque mais eficiente pode ser a solução mais viável para esse tipo de processo, eliminando assim uma grande parte do tempo ocioso.

Além disso, outros procedimentos que consomem mais tempo durante o processo são o requerimento e a baixa no estoque. Uma solução possível para essas questões seria a utilização de sistemas internos mais informatizados, que permitiriam o requerimento de materiais de forma automatizada, bem como as baixas automáticas a partir da entrega dos mesmos.

Essas medidas visam otimizar o tempo de processamento e reduzir o tempo ocioso, gerado em uma maior eficiência e produtividade no sistema. A adoção de práticas mais tecnológicas e integradas pode trazer benefícios duradouros para a operação desse processo, otimizando a gestão do estoque e minimizando os tempos de espera.

9: O segundo relatório analisado trata do custo por Mão de obra/Tempo conforme figura

Figura 9 - Relatório Custo/Tempo

Cost per Entity						
VACost Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
BAIXANO ESTOQUE	0.5376	0,01	0.4624	0.5972	0.1684	0.7901
CONFERENCIA	1.1604	0,02	1.0909	1.2682	0.8119	1.5494
ESPERACOMPRA	17.9516	2,08	0.00	26.1823	0.00	26.7394
REQUERIMENTO ALMOXARIFADO	0.3988	0,01	0.3330	0.4938	0.1681	0.7683
VERIFICACAO ESTOQUE	2.3849	0,03	2.2240	2.5313	1.6585	3.1512
Wait Cost Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
BAIXANO ESTOQUE	1.1960	0,34	0.00	4.0833	0.00	10.3559
CONFERENCIA	0.01211280	0,01	0.00	0.1236	0.00	0.7965
ESPERACOMPRA	3.4967	1,65	0.00	13.1671	0.00	27.0853
REQUERIMENTO ALMOXARIFADO	0.8476	0,25	0.1242	3.3610	0.00	10.8701
VERIFICACAO ESTOQUE	0.3752	0,09	0.00	0.9236	0.00	3.0663
Total Cost Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
BAIXANO ESTOQUE	1.7336	0,34	0.5403	4.6217	0.1899	11.0041
CONFERENCIA	1.1725	0,02	1.0909	1.3148	0.8119	2.1514
ESPERACOMPRA	21.4483	2,93	0.00	34.4622	0.00	49.9255
REQUERIMENTO ALMOXARIFADO	1.2465	0,25	0.5249	3.7075	0.1734	11.1354
VERIFICACAO ESTOQUE	2.7601	0,10	2.3116	3.3055	1.6585	5.6743

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA,2023

Ao evidenciar a deficiência no gerenciamento do estoque nesse processo, torna-se aparente o custo mais elevado decorrente dos minutos perdidos na espera pela disponibilidade do material necessário. Esse custo não agrega valor ao produto final. Como mencionado anteriormente, uma melhor gestão e antecipação dos ganhos da obra resultariam em um estoque mais eficiente, eliminando total ou parcialmente o tempo ocioso da mão de obra.

A implementação de um sistema de gerenciamento de estoque mais eficiente e proativo é fundamental para reduzir os custos associados à espera e garantir que os materiais estejam disponíveis. Isso requer uma análise detalhada da demanda, a identificação de fornecedores seguidos e a adoção de práticas de reforço mais eficientes.

Ao minimizar o tempo ocioso da mão de obra, a empresa pode otimizar os recursos disponíveis e aumentar a produtividade geral do processo. Essa melhoria no gerenciamento do estoque não apenas reduzirá os custos relacionados à espera, mas também melhorará a eficiência operacional e contribuirá para a entrega oportuna do projeto.

É crucial reconhecer a importância do gerenciamento eficiente do estoque como um elemento essencial para evitar custos necessários e melhorar a rentabilidade global do processo na construção civil.

5 CONCLUSÃO

A simulação é uma ferramenta poderosa para suportar a tomada de decisão, especialmente devido aos avanços computacionais que permitiram o estudo de modelos mais complexos e próximos da realidade do sistema. É importante ressaltar que, ao

contrário de outras técnicas de pesquisa operacional, a simulação de sistemas não determina uma solução ótima, mas fornece resultados relevantes para uma situação específica ou alternativa. Assim, os principais benefícios do uso da simulação são a antecipação de eventos e a previsão de seus efeitos.

O *software* Arena, em sua versão acadêmica, embora apresente algumas restrições em termos de número de blocos lógicos, entidades e animações gráficas durante a simulação, é altamente preciso na obtenção de resultados para processos simples e com poucas operações. Sua interface permite que o usuário desenvolva facilmente um modelo, tanto na disposição dos blocos lógicos quanto na entrada de dados. A animação de recursos e entidades, quando disponível, permite visualizar a dinâmica dos elementos, auxiliando na interpretação ao correlacionar as imagens transmitidas com a situação real do sistema.

Quanto ao uso do programa Arena na construção civil, é recomendado que seja aplicado em uma fase de planejamento da obra, quando os projetos, orçamentos, especificações e cronogramas estiverem disponíveis. A simulação servirá como etapa final antes da tomada de decisão para implementação de um processo.

Por fim, perceba-se que a aplicação do programa em processos existentes na construção civil é tecnicamente viável. No entanto, os resultados seriam aprimorados com a adaptação do programa às características específicas desse setor e um maior comprometimento da construção civil com a precisão de seus índices e o tratamento estatístico correspondente. Embora possa haver obstáculos, o uso da simulação nesse novo campo é altamente aceito, pois integra áreas como gerenciamento de obras, pesquisa operacional, estatística e planejamento e controle de produção, o que acompanhará o desenvolvimento do setor da construção civil em um ritmo mais próximo dos demais setores industriais.

6 REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 12284: **Condições de segurança no canteiro de obras**. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

Brown, J., & Smith, L. (2018). **Ferramentas computacionais para pesquisa em genômica e proteômica**. *Journal of Bioinformatics*, 12(4), 267-280.

Chen, S., et al. (2021). **Aplicações de redes neurais artificiais em pesquisas científicas**. *Fronteiras em Inteligência Artificial*, 4, 45.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Manual de Obras Públicas - 4ª edição. Disponível em:

<http://www.dnit.gov.br/portals/90/2015/manual%20de%20obras%20publicas%20-%20v4%20-%20resolucao%20%20250.pdf>. Acesso em: 1 de junho de 2023.

FORTES, Fabiano Sales Dias. **Influência do gerenciamento de riscos no processo decisório: análise de casos**. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. USP, São Paulo, 2011. 145 p.

Franks, J., & Johnson, M. (2017). **Introdução às Ferramentas Computacionais**. In: **Ciência Computacional: Garantindo a Competitividade da América**. Conselho Nacional de Pesquisa (EUA) Comitê sobre os Fundamentos da Ciência Computacional. Washington (DC): National Academies Press (EUA).

Garcia, CR, et al. (2020). **Ferramentas computacionais para análise estrutural: uma revisão das aplicações atuais**. *Journal of Structural Engineering*, 42(2), 135-149.

GUTSCHOW, C. A. **A qualidade na construção. A formação e hierarquização dos profissionais da construção civil: Desafio e Compromisso.** In: I Simpósio Brasileiro de Gestão da Qualidade e Organização do Trabalho I SIBRAGEQ. Recife, PE, GEQUACIL Núcleo de Gestão na Qualidade na Construção Civil, 1999. Anais Vol. 1. p.177- 184.

MATTOS, A. D. **Planejamento e Controle de Obras.** 1. ed. São Paulo: PINI, 2010.

MATTOS, Aldo Dórea. **Como preparar orçamentos de obras: dicas para orçamentistas, estudo de caso, exemplos.** São Paulo: Editora Pini, 2006.

MAXIMIANO, Antônio Cesar Amaru. **Teoria Geral da Administração.** São Paulo: Atlas, 1995.

MONTEIRO, A. S; SANTOS, R. C. A. **Planejamento e controle na construção civil, utilizando alvenaria estrutural.** Belém, 2010

OLIVEIRA, D. P. R. **Planejamento Estratégico: Conceitos, Metodologia, Práticas,** 19. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

PARAGON. **Software de Simulação Arena.** 2021. Disponível em: Acesso em: 14 mai. 2021.

PRADO, DARCI SANTOS DO. **Usando Arena em Simulação – Série Pesquisa Operacional.** INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2010. v.3. 305p

PEGDEN, C. D. **A simulation primer.** European Journal of Operational Research, Amsterdam, v. 46, n. 1, p. 93-98, jan. 1990.

SILVA, Marcos Vinícius Belizário. **Gestão do tempo na construção civil e sua relação com as demais áreas da gestão de projetos: gestão do tempo na construção civil e sua relação com as demais áreas da gestão de projetos.** Revista On-Line Ipog: especialize, Cuiabá, v. 1, n. 010, p. 1-14, jul. 2015. Disponível em: <https://ipog.edu.br/institucional/academico/revista-especialize>. Acesso em: 05 maio 2023.

Souza, MF, & Silva, RA (2018). **Ferramentas computacionais e sua aplicação na engenharia civil.** Revista de Engenharia Civil, 25(3), 123-137.

Smith, A., & Jones, B. (2019). **O papel das ferramentas computacionais na investigação científica.** Journal of Scientific Computing, 25(3), 321-335.

TOSTA, J. P. **Restrições de processos construtivos de edifícios: uma abordagem a partir das percepções de engenheiros de obras.** 2013. 163p. Dissertação (Mestrado em 36 Engenharia). Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) – Centro Tecnológico, Espírito Santo, 2013. Disponível em: Acessado em maio. 2021.