

Luiz Eduardo Figueiredo de Uzeda (Universidade Federal do Rio de Janeiro)

leduzeda@outlook.com

Marco Antônio Ribeiro de Almeida, DSc (Universidade Veiga de Almeida)

marco.almeida@uva.br

Márcio Alves Suzano, MSc (Universidade Veiga de Almeida)

marcio.suzano@uva.br

## **Aplicação de Indicadores de Desempenho Humano na Simulação de Eventos Discretos para Sistemas Produtivos**

## **Resumo**

Embora pesquisadores já tenham visto a importância de compreender o elemento humano em uma organização, diversos autores apontam que em muitos projetos de simulação este elemento não é bem representado. Esta visão errônea do fator humano pode prejudicar os resultados gerados pelos modelos de simulação. A atividade produtiva pode demandar trabalhos manuais ao longo da sua cadeia produtiva, gerando riscos e desgastes físicos. Assim, este trabalho, tem como objetivo o desenvolvimento de um modelo de simulação computacional de eventos discretos no software ARENA, onde o colaborador seja avaliado incorporando dois indicadores de desempenho humano: o ritmo circadiano e a idade.

**Palavras-Chaves:** Simulação Discreta, Fator Humano, Ritmo Circadiano, Idade.

## **1. Introdução**

Diante da demanda do mercado, as empresas devem focar na melhoria da eficiência e na redução de custos a cada dia, e se esforçar para obter uma margem de lucro favorável entre receitas e despesas, para se manterem competitivas e no mercado. Nesse contexto, a "pesquisa operacional" sempre forneceu fatos importantes para apoiar a tomada de decisão. Esta área se expande e cria muitas subáreas, incluindo a área de modelagem onde as simulações são geradas posteriormente.

Nesse caso, percebe-se a importância de ferramentas que auxiliem na tomada de decisões. Acredita-se que a pesquisa operacional é um método de tomada de decisão científica, que geralmente inclui a descrição de um sistema organizado com o auxílio de um modelo e a descoberta da melhor forma de operar um determinado sistema por meio de experimentos e simulações.

A simulação pode ser utilizada: “como auxílio ao processo decisório, baseado em um cenário extraído do mundo real, onde as possíveis alternativas são consideradas como variáveis em um modelo matemático que expressa o cenário analisado” (MELLO, 2021).

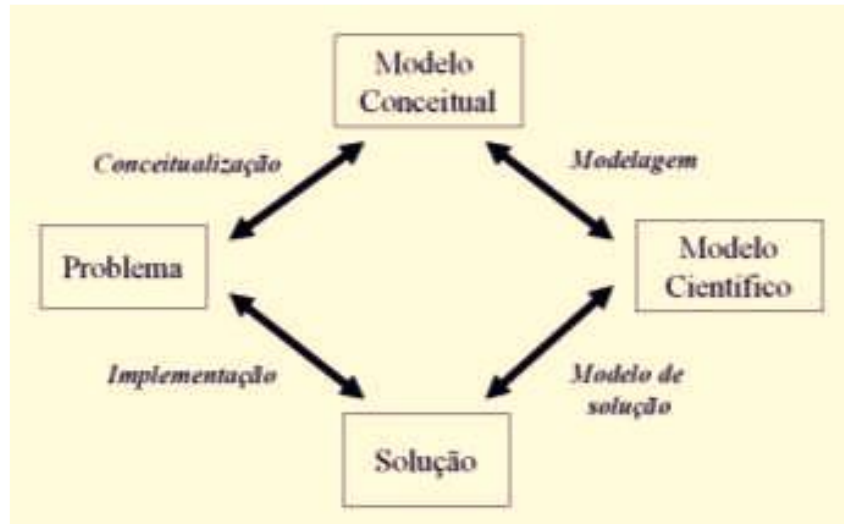
## 2. Simulação e Modelagem

O computador surgiu na década de 50, com isto, a modelagem de filas começou a ser analisada através da simulação, substituindo as grandes fórmulas matemáticas, apenas tentando imitar o funcionamento do sistema real. As linguagens de simulação surgiram na década de 60 e atualmente são facilmente utilizadas. A técnica de simulação visual teve seu uso e expansão gigantescos logo em seu começo, sendo altamente aceita, por ter um menor nível de complexidade e por ter inúmeras aplicações. Algumas destas áreas de aplicação são: linhas de produção, logística, comunicações, confiabilidade, processamentos de dados, entre outros. O ensino desta técnica se concentra ainda em alguns cursos de graduação e existem algumas linguagens que já são mundialmente conhecidas, como GPSS, SIMSCRIPT, GASP, PROMODEL, TAYLOR, ARENA, entre outras coisas (PRADO, 1999).

A simulação computacional pode ser definida como “a representação virtual de um sistema da vida real através de um modelo, tornando possível o estudo do sistema sem que seja necessário construí-lo na realidade, ou mesmo fazer modificações nesse sistema”, para que, através dos resultados, possamos estudar e avaliar as modificações propostas, sem que haja necessidade de alterá-lo no sistema real previamente (HARREL *et al.*, 2000 *apud* OLIVEIRA *et al.*, 2015).

O modelo de pesquisa desenvolvido por Mitroff *et al.* (1974) é umas das metodologias de pesquisas envolvendo a simulação, como mostra a Figura 1.

Figura 1- Passos para a realização de Modelagem e Simulação



Fonte: Mitroff *et al.*, 1974 *apud* Oliveira *et al.*, 2015

Segundo Oliveira *et al.* (2015), o passo a passo é definido em etapas, que são:

- a) A etapa de conceitualização: serve para que o pesquisador possa desenvolver um modelo do problema a ser estudado, definindo-se as variáveis importantes do problema em questão;
- b) Etapa de modelagem: é aonde relacionamos as variáveis, selecionadas anteriormente, umas com as outras, construindo assim, um modelo quantitativo;
- c) Etapa de modelo de solução: é aonde que através de modelos matemáticos e regras matemáticas, desenvolve-se um modelo de resolução de processos;
- d) Etapa de implementação: os resultados encontrados do modelo de resolução de processos são aplicados.

De acordo com Bertrand e Fransoo (2002) *apud* Oliveira *et al.* (2017):

“Nas pesquisas Axiomáticas Descritivas, os pesquisadores não passam pela fase de resolução de problemas. Nas Axiomáticas Normativas, os pesquisadores desenvolvem a modelagem e o modelo de solução. Nas Empíricas Descritivas, os pesquisadores desenvolvem a conceitualização, modelagem e a validação. E finalmente nas Empíricas Normativas, todo o ciclo é desenvolvido, sendo a mais completa das pesquisas”.

Baseado no contexto anteriormente descrito pode-se afirmar que a metodologia de pesquisa utilizada neste projeto é a Empírica Descritiva, pois o objetivo deste trabalho é

representar alguns dos fatores humanos em uma simulação de eventos discretos, utilizando procedimentos de estudos experimentais, através de uma pesquisa fundamentada em referências bibliográficas e documentais, conceitualizando, modelando e validando de um modelo no software ARENA.

### 3. Representação do fator humano por meio da SED

Amplamente utilizada desde 1990, a simulação de eventos discretos significa construir um modelo computacional de simulação de um processo qualquer para explorar alternativas, cenários e novos projetos. Na Simulação de Eventos Discretos (SED), o modelador considera o sistema modelado como um processo, ou seja, uma série de operações realizadas através das entidades (BORSHCHEV, 2013 *apud* OLIVEIRA *et al.*, 2017).

A simulação reflete a dinâmica do sistema, sendo que ela não é um modelo matemático estático, do qual o resultado é proveniente apenas das fórmulas matemáticas e mesmo assim contém componentes que podem ser estáticos ou dinâmicos. Assim sendo, são dinâmicos os componentes que se movem no sistema, como “entidades que recebem serviços à medida que vão percorrendo as etapas do processo”. Todos os outros componentes são estáticos, porque eles “prestam serviços às entidades, sem, no entanto, se moverem no sistema”. Então, exemplos de componentes estáticos são os recursos e as estações de trabalho.

Porém, dentro dos sistemas produtivos, existem diversos elementos importantes, um deles é o elemento humano. Contudo, na simulação computacional, estes elementos são ignorados na maioria das vezes, comprometendo a representação do desempenho do sistema montado, pois o fator humano é fundamental e influencia a competitividade das empresas. O desempenho humano em modelos de simulação é essencial, principalmente em situação onde este desempenho está propenso a mudar ao longo do tempo (MASON *et al.*, 2005 *apud* OLIVEIRA, 2017).

De acordo com Mason *et al.* (2005) *apud* Oliveira (2015) representar o elemento humano como um simples recurso em modelos de simulação a eventos discretos é uma falha gigantesca na modelagem de um sistema onde exista uma elevada porcentagem de trabalho manual, como por exemplo, uma linha de montagem. Seres humanos não podem ser representados iguais a máquinas, pois por natureza “são inerentemente instáveis, imprevisíveis e capazes de ações independentes”. Os resultados de uma simulação a eventos

discreto podem estar distorcidos, pois a variação de desempenho do ser humano é modelada de forma incorreta. Os resultados previstos nestes modelos são diferentes dos resultados que ocorrem na prática, devido à incapacidade desta simulação em representar o desempenho de trabalhadores com precisão.

Simulações de operadores humanos são geralmente raras, mesmo em sistemas onde o comportamento humano tem um grande impacto no desempenho geral e na segurança do sistema. Portanto, antes de fazer escolhas irrevogáveis, as capacidades e limitações humanas precisam ser consideradas no início do processo de design do sistema. Para expandir as capacidades de modelagem, principalmente em SED, é importante avaliar o impacto dos fatores humanos no desempenho do sistema de produção (LEE, RAVINDER e JOHNSTON, 2005 *apud* OLIVEIRA, 2015).

No entanto, modelar usando apenas a simulação de eventos discretos não é tarefa fácil. Ao se modelar deve-se fazer suposições muito precisas sobre as decisões que o elemento humano pode tomar para adaptar seu comportamento no formato de modelagem de simulação de eventos discretos. É difícil modelar as decisões em tempo real de uma única entidade usando esse tipo de simulação. De acordo com Baines *et al.* (2004) *apud* Oliveira *et al.* (2015):

“a simulação computacional frequentemente superestima a capacidade de produção de sistemas de manufatura e esta diferença entre a performance prevista e a real se deve ao fato dos modelos de simulação não incorporarem elementos chaves como o desempenho do ser humano e os fatores que impactam neste desempenho”.

A maioria dos softwares de simulação considera os trabalhadores como simples recursos e expressa o comportamento de máquinas detalhadamente (SIEBERS, 2006 *apud* OLIVEIRA *et al.*, 2015).

Segundo Schneider (2021), representar de forma realista o elemento humano é essencial para que melhore a precisão da simulação. Com isto, percebe-se que na simulação a eventos discretos há uma lacuna a ser preenchida no que diz respeito ao fator humano, para que se “tenha uma maior aproximação com a realidade e com as características específicas deste fator em meio à simulação”. Para melhorar a exatidão da simulação, deve-se representar as pessoas de forma mais realista, considerando seu comportamento e desempenho.

### 3.1 Ritmo circadiano

De acordo com Baines *et al.* (2004) muitos de nossos processos, como produção de hormônios, digestão, homeostase etc, ao longo do tempo apresentam variações na excitação e eficiência. O ritmo circadiano, por exemplo, varia como uma função relativamente simples em um período de 24 h, enquanto outros processos possuem maior complexidade e variam em períodos maiores, como meses. Todos os ritmos realizam tarefas vitais de bio - regulação e, quando autorizados a realizar suas tarefas sem obstáculos, o corpo humano pode manter níveis normais de esforço, empenho, motivação e saúde física e mental. Quando os ritmos são interrompidos, no entanto, o desempenho é degradado e a saúde pode ser afetada o suficiente para causar doenças crônicas e agudas, como problemas cardiovasculares, câncer e depressão clínica.

Segundo Baines *et al.* (2004) a principal função do ritmo circadiano é preparar o sono do corpo humano, através da regulação hormonal. Isso geralmente é caracterizado por uma redução na temperatura central, um aumento na melatonina e atividade característica das ondas cerebrais. O ritmo circadiano então nos faz acordar após uma duração média de sono de pouco mais de 7 horas. Os horários preferidos das pessoas de acordar e dormir varia. O impacto do ritmo circadiano sobre o desempenho é difícil de determinar, uma vez que em trabalhadores normais e saudáveis, a variação de desempenho ao longo de 5 a 9 dias de trabalho é de apenas alguns por cento, o que é facilmente mascarado (Minor *et al.*, 1986).

Para esta pesquisa, o modelo proposto por Spencer (1987) foi identificado como fornecendo uma base adequada para um micromodelo. O trabalho de Spencer estudou 30 alunos ao longo de um período de 9 dias de trabalho com espaçamento irregular e episódios de descanso. Com base nesses resultados e em estudos anteriores, um modelo foi desenvolvido incorporando os efeitos de “hora do dia” e “tempo desde o sono” para prever o desempenho de episódios de trabalho que começam em horários diferentes do dia. O desempenho na tarefa utilizada no estudo, a tarefa de substituição de símbolo digital (DSST), é previsto para a hora do dia,  $T$ , e o tempo desde o sono,  $t$ . Acredita-se que a equação abaixo representa diretamente a variação no tempo de atividade de um trabalhador em qualquer tarefa

de montagem. Lembrando que esta equação basea-se na população original e estamos assumindo uma constância dos coeficientes.

$$DSST(T,t) = 233,3 + 1,54.t - 0,304.t^2 + 0,0108.t^3 + 4,97.\cos(2.PI [T - 17,05] / 24)$$

### 3.2 Idade

De acordo com Warr (2002) *apud* Baines *et al.* (2004) há evidências de que o desempenho diminui com a idade. As funções cognitivas básicas do corpo humano, como “memória de curto prazo, velocidade de processamento e tomada de decisão, bem como faculdades físicas gerais, como aptidão aeróbia, consumo de oxigênio e força muscular máxima”, diminuem linearmente quando consideradas isoladamente. Todos esses efeitos são regulados e podem ser reduzidos significativamente pelo aumento de habilidades técnicas e interpessoais, experiência, treinamento físico, estilo de vida e mecanismos pessoais de enfrentamento. Ao tentar expressar esse mecanismo de mascaramento, um modelo foi desenvolvido com base na seguinte suposição: quando o desempenho exigido pela tarefa é significativamente inferior ao desempenho máximo, a mudança real no desempenho não é linear. O modelo assume que o declínio na idade não pode ser medido até depois dos 30 anos e o efeito de mascaramento reduz linearmente os efeitos do envelhecimento, e o efeito total da idade não será sentido até a idade de 65 anos. Suponha que a taxa de degradação do desempenho devido à idade ( $d$ ) não seja fixada em 1% ao ano, mas aumenta linearmente de 0% aos 30 anos para 1% aos 65 anos. Portanto, para a faixa etária de 30 a 65 anos,  $d$  é dado por:

$$d = (a - 30) / 35$$

Onde  $d$  = razão de decremento de performance devido a idade (%);  $a$  = idade em anos.

A diminuição da performance em uma dada idade “ $a$ ” pode então ser calculada por:

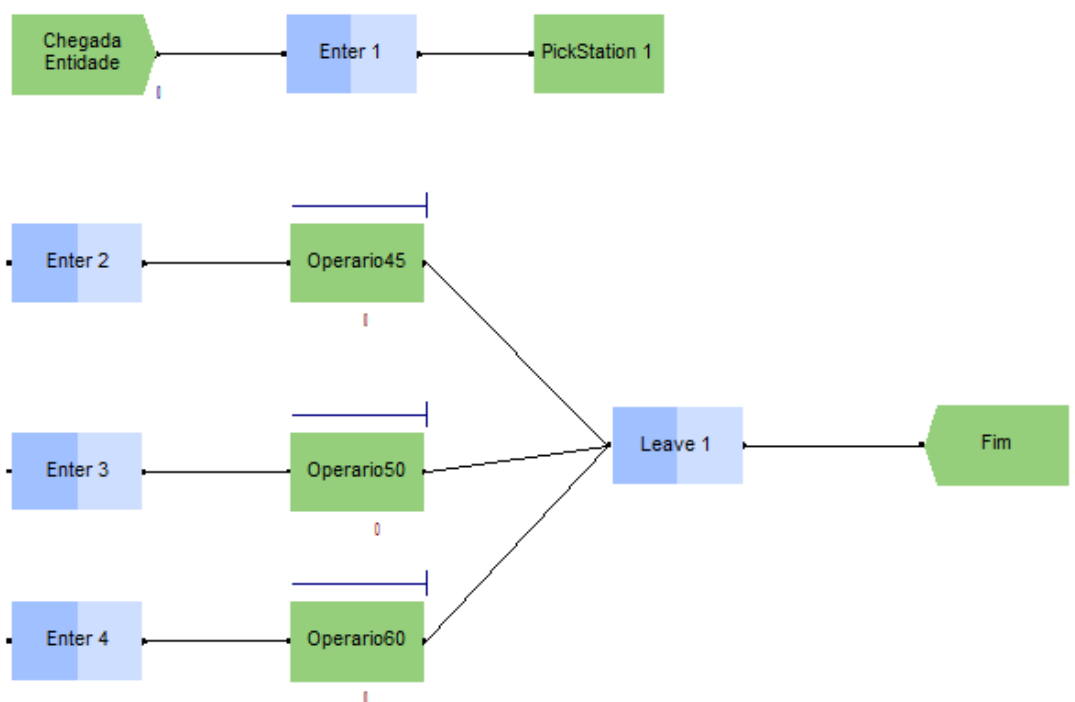
$$D = d(a - 30)$$



## 6. Resultados

Nesta seção, será demonstrada como o modelo foi aplicado no software ARENA (Figura 2) e sua elaboração. Utilizamos como base alguns modelos existentes, mudando apenas alguns pontos cruciais como os critérios de filas e expressões matemáticas. Outro elemento importante, é mostrar como podemos simular as pessoas dentro de uma simulação discreta. Dito isto, como este estudo é de caráter exploratório, foram divididas e selecionadas aleatoriamente as probabilidades de chegada de entidades, as probabilidades de distribuição dos processos, as expressões de idade e de ritmo circadiano. Todas estas variáveis serão explicadas posteriormente de forma mais detalhada

Figura 2 - Modelo no Software ARENA



Fonte: Autores

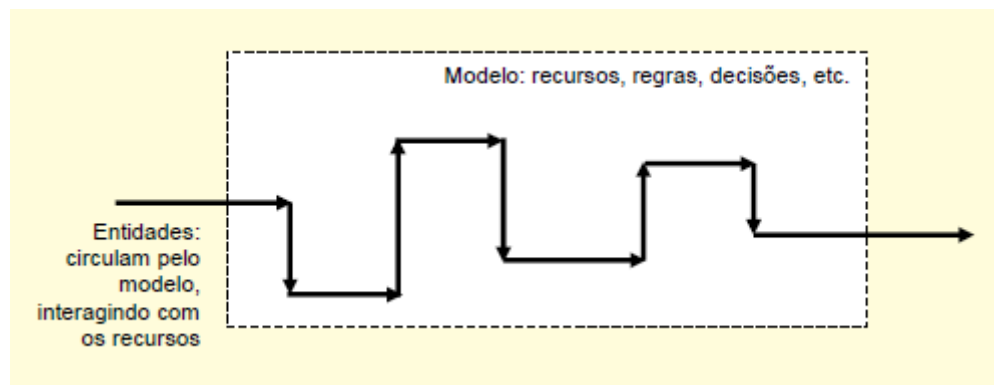
Como se pode observar na figura 2, o ARENA nos proporciona ver e analisar o fluxo de um sistema através de um diagrama de blocos. Cada um desses blocos é chamado de “módulo”. Vamos entender o que cada módulo destes faz e o porquê da sua escolha,

justificando seu uso para representar um operário. Para isto, vamos definir os módulos de fluxograma e de dados, analisando a figura 3 que mostra a ideia de um modelo completo.

- Módulos de fluxograma - são usados para construir o fluxograma dentro da área de trabalho. Cada módulo pode ser repetidamente colocado quantas vezes se fizerem necessárias para a construção do modelo. Possuem pontos de entrada e saída, usados para estabelecer interconexões e criar o fluxo do processo. Um duplo clique neste módulo abre uma janela que permite configurar as ações referentes a ele. Também é possível editar estes dados na janela de planilha, que fica logo abaixo da área de trabalho. A planilha apresentada irá mudar conforme forem selecionados diferentes módulos.
- *Create* – serve para introduzir as entidades no modelo segundo intervalos de tempo definidos.
- *Enter* – serve para indicar a entrada de uma entidade em uma estação. Além disso, serve para liberar algum dispositivo de transporte usado para levar a entidade até o seu destino. Permite que se especifique também o tempo de descarregamento se existir.
- *Leave* – serve para indicar a saída de uma entidade de uma dada estação. Para sair da estação uma entidade pode requisitar dispositivos de manuseio de materiais como esteiras, empilhadeiras e outros transportadores. Além disso, podemos especificar o tempo de carregamento da entidade no transportador.
- *PickStation* – permite escolher o melhor desvio e encaminhar a entidade para aquele local de acordo com o/os critério(s) escolhido(s).
- *Process* – tem a função de representar qualquer ação dentro do sistema que leve um tempo para ser cumprida. Também é capaz de representar a ocupação de uma máquina ou operador (recurso).
- *Dispose* – tem função inversa à do módulo *Create*. Ele tem a função de retirar as entidades do sistema.
- Módulos de dados – apesar de aparecerem na janela do *template*, não são colocados na área de trabalho. Ao serem selecionados, apresentam sua lista de dados na área de planilha, onde podem ser editados, excluídos ou inseridas novas informações.
- Entidades – são as partes circulantes do modelo, que percorre a lógica estabelecida pelo fluxograma, interagindo com os recursos.

- Recursos – representam a estrutura do sistema, como máquinas, postos de trabalho, meios de transporte, pessoas que participam do processo e etc.

Figura 3 - Ideia de um modelo completo



Fonte: Curso de Introdução a simulação com ARENA, 2005

Na sequência deve-se mensurar, através de expressões matemáticas, as variáveis das quais estamos estudando que afetam o desempenho de um operador: o ritmo circadiano e a idade. Como podemos expressar de forma clara o rendimento de uma pessoa e como incluir isto numa simulação dentro do ARENA? Para isto, vamos explicar um de cada vez.

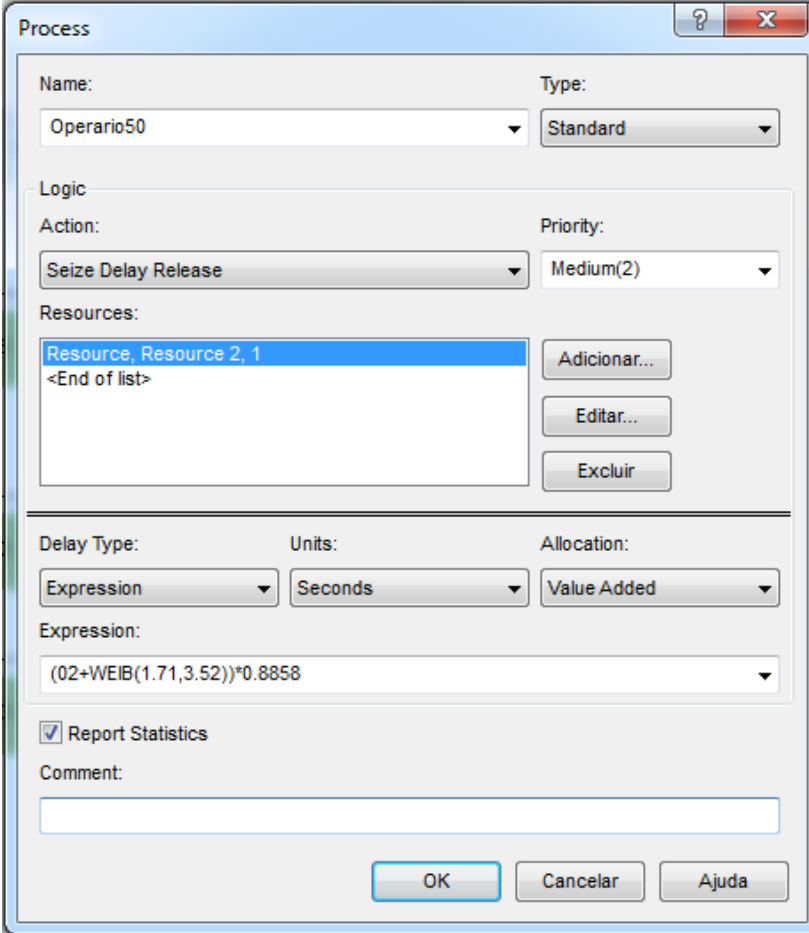
A idade varia de acordo com a expressão citada anteriormente, ou seja, é uma constante percentual. Para este estudo, foram selecionadas as idades de 45, 50 e 60 anos. Logo, dentro do módulo *Process*, que no nosso caso tem o nome de “Operário50”, deve-se acrescentar uma simples multiplicação do %, de acordo com a idade escolhida, com a expressão de distribuição de probabilidade, na aba de expressões. Veja na tabela 1 os valores de variação de desempenho de acordo com a idade e na figura 4 um exemplo de um operário de 50 anos.

Tabela 1 - Variação % de performance de uma pessoa de acordo com a idade

Idade	Variação % de performance
45	93,5714
50	88,5714
60	74,2857

Fonte: Autores

Figura 4 - Exemplo variação % performance operário 50 anos



The screenshot shows the 'Process' dialog box in Arena software. The 'Name' field is 'Operario50' and the 'Type' is 'Standard'. Under 'Logic', the 'Action' is 'Seize Delay Release' and the 'Priority' is 'Medium(2)'. The 'Resources' list contains 'Resource, Resource 2, 1'. The 'Delay Type' is 'Expression', 'Units' is 'Seconds', and 'Allocation' is 'Value Added'. The 'Expression' field contains the formula  $(02+WEIB(1.71,3.52))*0.8858$ . The 'Report Statistics' checkbox is checked. The 'Comment' field is empty. Buttons for 'OK', 'Cancelar', and 'Ajuda' are at the bottom.

Fonte: Autores

Desta forma, iremos alterar o desempenho final de acordo com o rendimento proposto pela idade do operário.

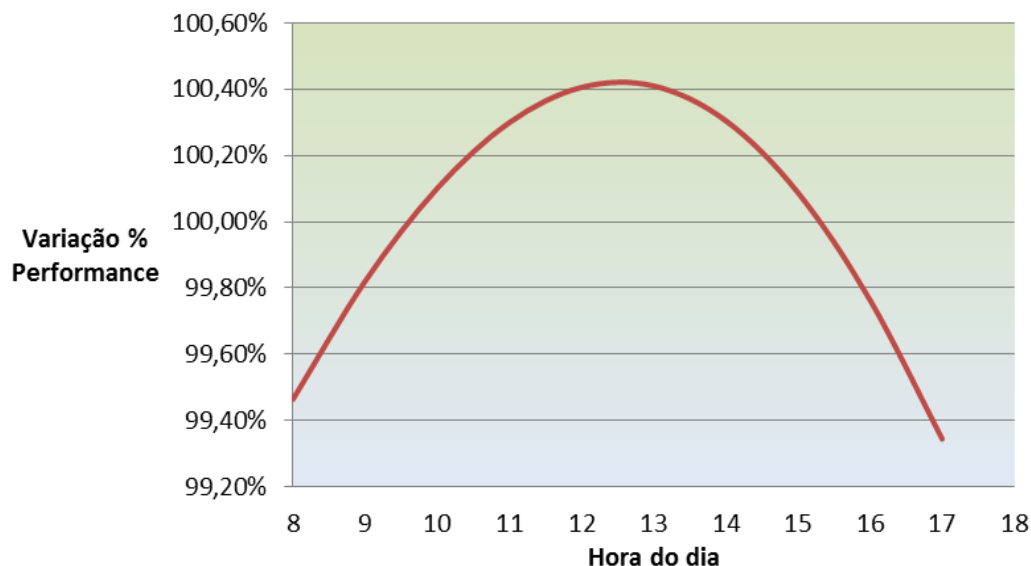
O ritmo circadiano é uma situação complexa, pois ele varia de hora e hora e no ARENA não é possível executar replicações com mudanças nas expressões matemáticas de hora em hora. O software mantém a expressão por todo o período de tempo de escolha de replicação, seja ele qual for. Logo, foi-se necessário realizar 10 replicações, uma para cada hora do dia, para que pudéssemos, ao final, encontrar a variação de desempenho de acordo com o ritmo circadiano calculando-se a média destas replicações. Neste artigo, selecionamos três horários diferentes de levantar da cama (acordar) e escolhemos aleatoriamente, para cada um dos operários, um deles. Os horários foram 05h, 06h e 07h da manhã, com o turno de

trabalho começando de 08h da manhã até as 17h da tarde, com intervalo de uma hora entre 12h e 13h.

Outro problema encontrado foi transformar a expressão do ritmo circadiano em uma constante percentual para que pudéssemos, da mesma forma que a idade, incrementar uma multiplicação simples na expressão matemática de distribuição de probabilidade do operário. Para isto, nos baseamos na expressão DSST.

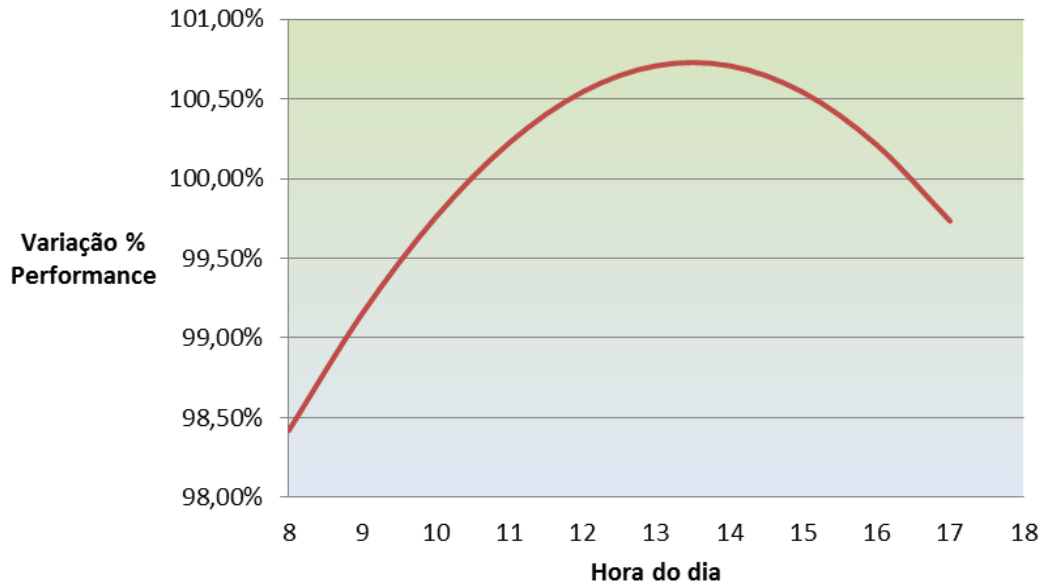
Sobre os dois últimos parágrafos, os gráficos abaixo, do 1 ao 3, mostram as variações encontradas e os valores utilizados.

Gráfico 1 - Variação % operário que acorda 3 horas antes do turno de trabalho



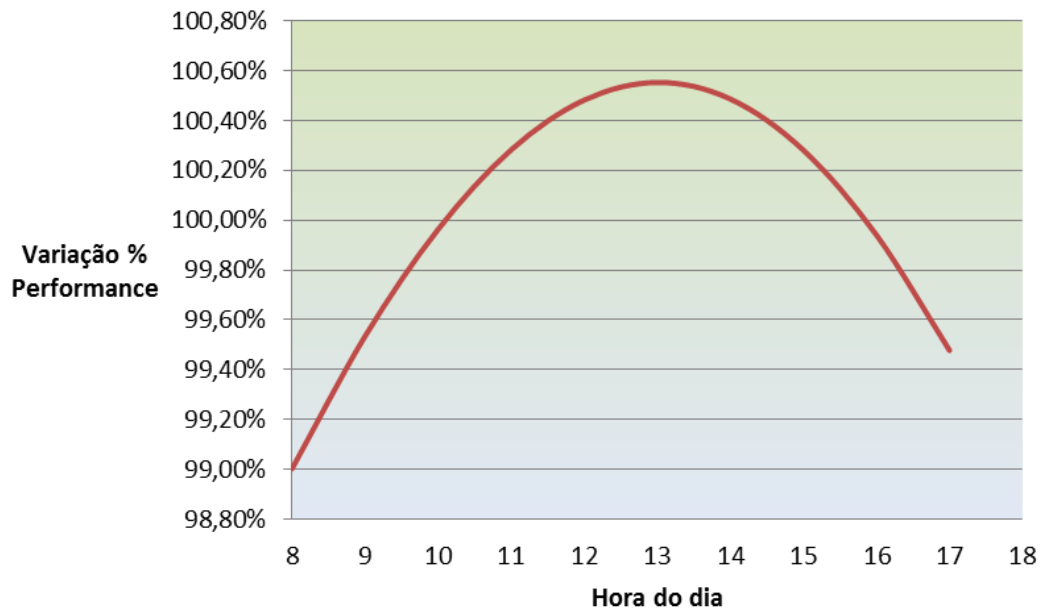
Fonte: Autores

Gráfico 2 - Variação % operário que acorda 1 hora antes do turno de trabalho



Fonte: Autores

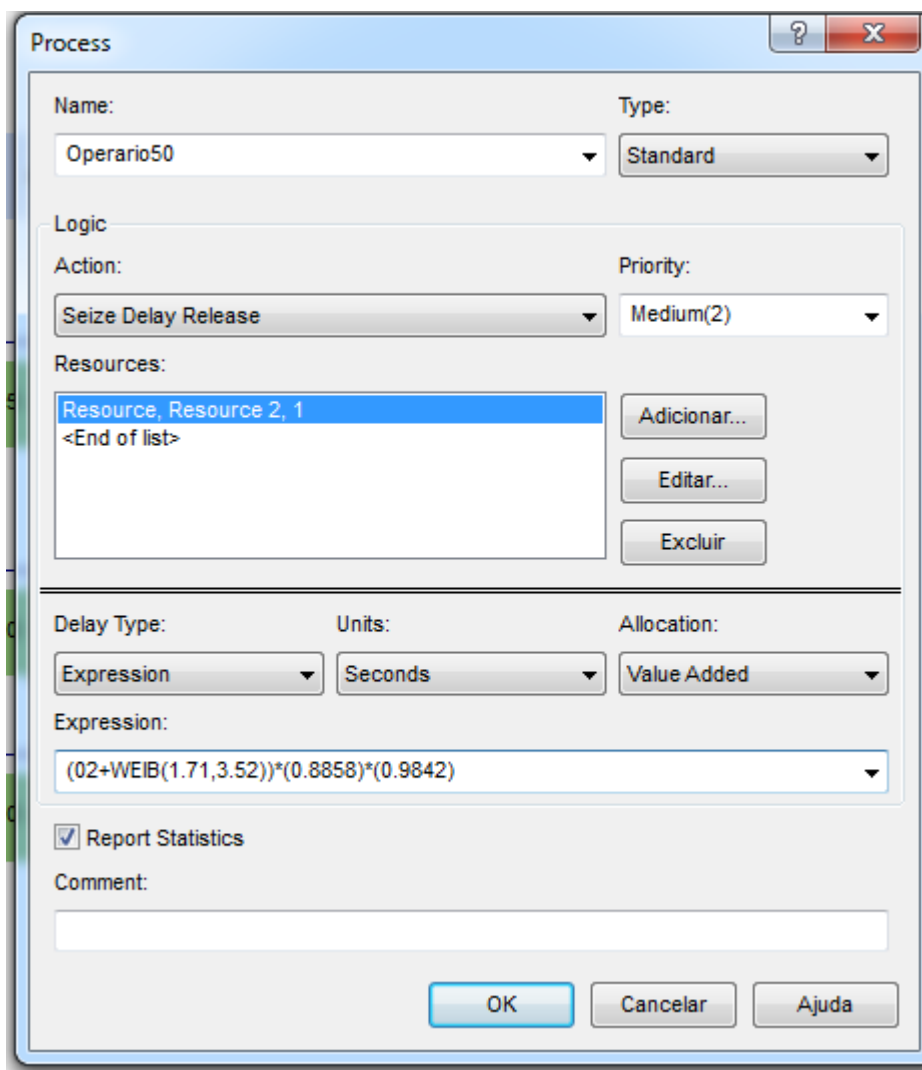
Gráfico 3 - Variação % operário que acorda 2 horas antes do turno de trabalho



Fonte: Autores

Dando continuidade, pode-se prosseguir com os valores de performance encontrados. Estes valores são para cada hora do dia, seguindo a regra da expressão DSST (T,t). Agora devemos acrescentar na nossa expressão dentro do módulo *Process*, que no nosso exemplo a seguir, é o operário de 50 anos que acorda 1 hora antes do seu turno de trabalho, que começa às 8 horas da manhã.

Figura 5 - Exemplo variação % performance operário 50 anos + 1h antes do turno



The screenshot shows a 'Process' dialog box with the following configuration:

- Name: Operario50
- Type: Standard
- Logic:
  - Action: Seize Delay Release
  - Priority: Medium(2)
  - Resources: Resource, Resource 2, 1; <End of list>
- Delay Type: Expression
- Units: Seconds
- Allocation: Value Added
- Expression:  $(02+WEIB(1.71,3.52))*(0.8858)*(0.9842)$
- Report Statistics
- Comment: (empty)

Fonte: Autores

O exemplo acima, da figura 5, é de um operário de 50 anos que acorda 1 hora antes do turno. Porém, esta variação muda de hora em hora, ou seja, das 7 horas da manhã até as 8 horas, é um valor, de 7 horas da manhã até as 9 horas, é outro. E assim vai sucessivamente até

o fim do turno, às 17 horas da tarde. Por conta disto, é necessário refazer a replicação 10 vezes, uma para cada hora, e no final, somar os valores e calcular a média.

No nosso estudo, utilizamos para a distribuição de probabilidade algumas expressões do trabalho de Michel Peiter (2012). Como nosso estudo é de caráter exploratório, foram escolhidas 3 distribuições aleatoriamente, e da mesma forma, foram designadas para cada um dos operários. Desta forma também foi para expressão de chegada de entidades. Assim sendo, dentro dos módulos *Create* e *Process* do nosso fluxograma (Chegada Entidade e Operário45, Operário50 e Operário60), a expressão final ficou sendo: distribuição de probabilidade aleatória + % idade + % ritmo circadiano. Os valores finais do nosso estudo estão na tabela 2 a seguir.

Tabela 2 - Resultado das simulações

Característica da replicação	Valor final da simulação
08h	11,597
09h	11,614
10h	11,575
11h	11,257
12h	11,122
13h	11,477
14h	11,901
15h	11,616
16h	11,505
17h	11,575
Com idade	11,518
Sem idade	11,4
Média Total	11,51308333

Fonte: Autores



## 5. Conclusão e recomendações para trabalhos futuros

Infelizmente o software de simulação ARENA não possui ferramentas adequadas para a simulação de fatores humanos, havendo a necessidade de adaptações das quais podem comprometer a simulação no final. Apesar dos problemas que existem na simulação de eventos discretos relacionada ao comportamento humano, há uma maneira de se calcular alguns fatores, analisando a variação do funcionário em relação a sua idade e o ritmo circadiano, por exemplo. Estes dois fatores são possíveis de serem calculadas sendo variáveis constantes, caso contrário, não seria possível incrementar tais dados nas expressões de distribuição de probabilidade. Para trabalhos futuros recomendasse que seja feito um estudo de caso, baseado em um sistema real para que se torne possível realizar este estudo com um viés quantitativo considerando outros fatores que afetem a produtividade do ser humano.

## 6. REFERÊNCIAS

BAINES, Tim; MASON, Stephen; SIEBERS, Peer-Olaf; LADBROOK, John. **Human: the missing link in manufacturing simulation ?**. Simulation Modelling Practice and Theory, volume 12, páginas 515-256. Novembro, 2004. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/188183598.pdf>>. Acesso em 10 set., 2021.

MELLO, Braulio A.. **Modelagem e Simulação de Sistemas**. Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Departamento de Engenharias e Ciência da Computação. Santo Ângelo, RS, Brasil, 2001. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/51072551/modelagem-e-simulacao-de-sistemas>>. Acesso em 3 maio., 2021.

MINOR, D. S.; NICHOLSON, A. N.; SPENCER, M. B.; STONE, B. M.; WATERHOUSE, J. M.. **Irregularity of rest and activity: Studies on circadian rhythmicity in man**. *Journal of Physiology*, 381, páginas 279-296, 1986. Disponível em: <<https://physoc.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1113/jphysiol.1986.sp016327>>. Acesso em 15 de jun., 2021.

MITROFF, I.I; BETZ, F; PONDY, L.R; SAGASTI, F. **On managing science in the systems age: two schemas for the study of science as a whole systems phenomenon.** Interfaces, vol. 4, n. 3, p. 46-58, 1974.

OLIVEIRA, Mona L. M.; SENA, David C.; MONTEVECHI, Jose A. B.; PINHO, Alexandre F.. XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção: Perspectivas Globais para a Engenharia de Produção. **Combinação da simulação baseada em agentes com a simulação de eventos discretos para avaliar o impacto do fator humano em uma célula de produção.** Fortaleza, CE, Brasil, 13 a 16 de out., 2015. Disponível em: <<http://www.abepro.org.br/publicacoes/>>. Acesso em 03 maio, 2021.

OLIVEIRA, Mona L. M.. **Utilização de simulação híbrida para representar o fator humano em sistemas produtivos.** Universidade Federal de Itajubá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Itajubá, MG, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/handle/123456789/1056>>. Acesso em 11 ago., 2021

PEITER, Michel. **Simulação da dinâmica operacional do processo industrial de pendura de frangos.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Coordenação de Engenharia de Produção, Curso de Graduação em Engenharia de Produção. Medianeira, PR, 2012. Disponível em: <<https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/12852>>. Acesso em 11 jul., 2021.

PRADO, Darci. **Usando o Arena em simulação.** Série Pesquisa Operacional, volume 3, 1ª edição. Belo Horizonte, ago., 1999..

SCHNEIDER, Carlos S.. **Utilização de aspectos ergonômicos na simulação de sistemas de produção.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Porto Alegre, RS, 2004. Disponível em: <[http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/publicacoes/carlos\\_s\\_schneider.pdf](http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/publicacoes/carlos_s_schneider.pdf)>. Acesso em 10 ago., 2021.

SPENCER, M. B.. **The influence of irregularity of rest and activity on performance: a model based on time since sleep and time of day.** Ergonomics, volume 30, nº 9, páginas 1275-1286, 1987. Disponível em: <<https://ur.booksc.eu/book/37705531/c199cd>>. Acesso em 10 ago., 2021.