

SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS COM MÓDULO DE DECISÃO UTILIZANDO REDES NEURAIS ARTIFICIAIS - APLICAÇÃO COM O SOFTWARE URURAU

Fábio Freitas da Silva

Engenheiro de Produção / UCAM
fabio1_freitas@hotmail.com

Eder Reis Tavares

Engenheiro de Produção / UCAM
ederreis-@hotmail.com

João José de Assis Rangel

Doutor em Engenharia e Ciências dos Materiais/ UENF
joao@ucam-campos.br

Túlio Almeida Peixoto

Mestre em Pesquisa Operacional e Inteligência Computacional / UCAM
tulioap@gmail.com

Italo de Oliveira Matias

Doutor em Programa de Engenharia Civil / UFRJ
italo@ucam-campos.br

RESUMO

O estudo propõe apresentar um exemplo de aplicação do software de simulação a eventos discretos livre de custos e de código aberto Ururau, com foco na funcionalidade de decisão através de Redes Neurais Artificiais (RNA). Foi elaborado um modelo para demonstrar e validar esta função de decisão integrada com o software. Este modelo ilustra um cenário em que uma empresa manufatureira deveria escolher entre dois fornecedores com base nas emissões de CO₂ e custos gerados por cada um deles. Após os testes, uma análise foi feita do relatório final da simulação referente a cada fornecedor verificando os tempo e número nas filas dos processos, as taxas de utilização dos recursos, as emissões geradas, os custos e a média de aprovações e reprovações de cada fornecedor. Por fim, concluiu-se que o Ururau e a função de decisão com RNA apresentaram uma boa integração.

Palavras-chave: Simulação a eventos discretos; Free open source; Ururau; Decisão; Redes Neurais Artificiais; Sustentabilidade.

1. Introdução

A simulação é a projeção da realidade através da abstração desta, baseada pelas observações, históricos, e inferências realizadas sobre as características de um sistema real (BANKS, 2000). A representação de um sistema real ou hipotético modelado em um computador é conhecida como simulação computacional. Sendo utilizada para efetuar análises e aprimorar o desempenho de um sistema real (HARREL; GHOSH; BOWDEN, 2000).

As decisões realizadas em software de simulação a evento discreto usam, normalmente, operadores lógicos ou porcentagens oriundos de algum padrão histórico dos dados do sistema

sob análise. Assim, aspectos dos sistemas que configuram decisões mais sofisticadas, muitas vezes oriundas da participação de pessoas nos processos, são representadas de forma simplificada nos modelos (SILVA et al. 2014). Com isso, autores como Bergmann *et al.* (2014) e Robinson *et al.* (2001) têm motivado, em seus estudos, a representar essas decisões de forma mais realista, através da incorporação de algoritmos com algum tipo de inteligência computacional.

Diante disso, o objetivo deste trabalho é descrever o ambiente de desenvolvimento de modelos de simulação a eventos discretos Ururau de forma atualizada, apresentado sua arquitetura e funcionalidades. O mesmo foi apresentado inicialmente no trabalho de Peixoto, Rangel e Matias (2011) e posteriormente descrito por Peixoto et al. (2013). São descritos os principais novos recursos do software, além disso, um modelo simples foi proposto para apresentar a possibilidade de utilização de simulação com decisão baseado em Redes Neurais Artificiais (RNA) integrado com Ururau.

2. Ururau

O software Ururau utiliza como base a biblioteca de simulação JSL – Java Simulation Library, proposto por Rossetti (2008). Segundo Peixoto et al. (2013) o JSL permite a construção de modelos orientados a processo e a adição de novos comandos de processo, a medida que o modelo de simulação fica mais complexo. Este é um *Free and Open Source Software* (FOSS) que utiliza uma linguagem multiplataforma, Java, para o desenvolvimento de seu código.

2.1 Arquitetura

O software Ururau foi estruturado em camadas, são elas a biblioteca JSL, o núcleo do Ururau e a interface gráfica, todas elas utilizam a linguagem Java. Na camada mais inferior está a biblioteca JSL que converte o modelo composto por uma série de comandos de processo (Process View), para uma seqüência de eventos discretos. O núcleo do Ururau se encontra na camada intermediária que é composta por comandos de processos específicos do JSL, como criação de entidades, prender (Seize), atraso (Delay), liberar (Release), dentre outros. Por último, a camada mais superior trata da conversão do modelo gráfico (Peixoto et al. 2013). A arquitetura do Ururau pode ser observada na Figura 1.

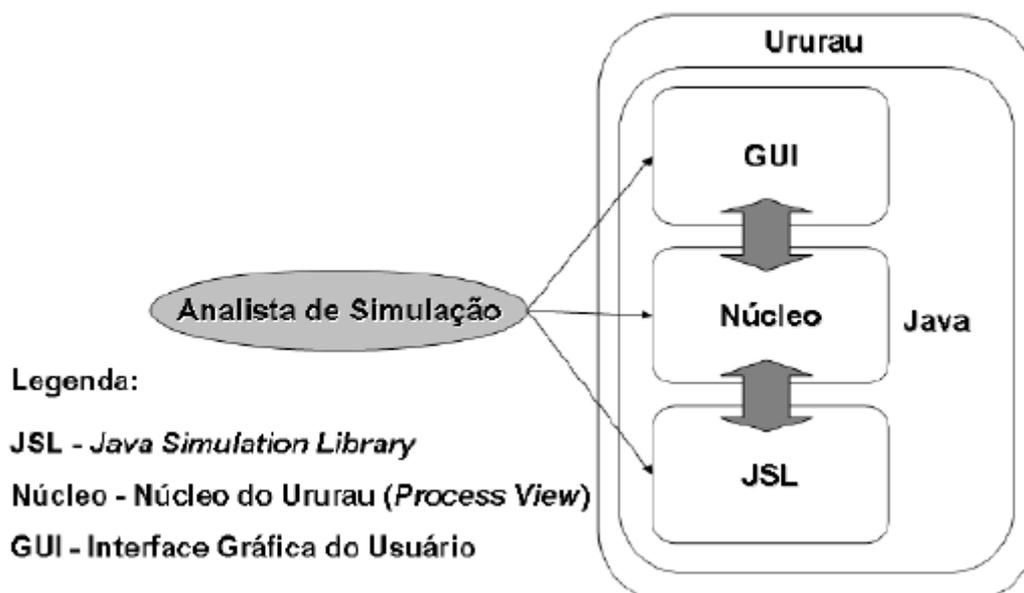


Figura 1: Arquitetura do Ururau. Fonte: Adaptado de Peixoto et al. (2013).

2.2 Funcionalidades

A seguir serão descritas algumas funcionalidades do Ururau, bem como trabalhos que utilizam essas novas ferramentas do software. O item 2.2.1 apresenta a parte de otimização do software por meio de algoritmos genéticos, já o 2.2.2 trata da integração do Ururau com CLPs e, por último, o item 2.2.3 aborda as Redes Neurais Artificiais integradas com o software.

2.2.1 Otimização

Métodos de otimização e pesquisa inspirados nos mecanismos de evolução de população de seres vivos são os algoritmos genéticos (AG), estes algoritmos seguem o princípio da seleção natural e sobrevivência do mais apto, proposto por Charles Darwin. (LACERDA e CARLOS, 1999). Sendo um sub-ramo dos algoritmos evolutivos, eles são desenvolvidos para resolver difíceis problemas de otimização (CAN et al. 2008). Pode ser definido como um método no qual os estados sucessores são criados pela geração de dois estados pais, ao contrario de serem gerados pela alteração de um único estado (NORVIG, 2004).

Em simulação a eventos discretos, o uso de AGs está presente na literatura, como, por exemplo, o trabalho de PONSIGNON e MÖNCH (2014) que apresentam uma estrutura baseada em simulação que permite a modelagem do comportamento da demanda do mercado e do sistema de produção. Os mesmos utilizam heurísticas, entre elas AG, para avaliar o planejamento mestre da produção de semicondutores em um horizonte de tempo, levando em consideração a demanda e a incerteza de execução. Um outro trabalho é o estudo de Can et al. (2008) onde este utilizou AG e DES para resolver problemas de alocação de buffer em uma linha de produção.

2.2.2 Integração Ururau com CLP

O Ururau permite a comunicação com controladores lógico-programados (CLP) atuando como um simulador para testes de linhas ou plantas produtivas. Como demonstra o trabalho de Cardoso et al. (2014) que usa o Ururau como recurso didático em aulas de sistemas de controle automático. Para realizar a comunicação o acesso pode ser feito através do menu Ferramentas e opção Comunicação OPC (OLE for Process Control). OPC é um padrão de interface de software que permite aos programas do Windows se comunicar com dispositivos de hardware industriais. É necessário criar uma conta de usuário do Windows com permissões de acesso utilizados para componentes DCOM do servidor OPC escolhido. A comunicação será bem sucedida quando, clicando em 'Connect', a caixa de texto lista as tags predefinidas no servidor OPC selecionado como mostrado na Figura 2.

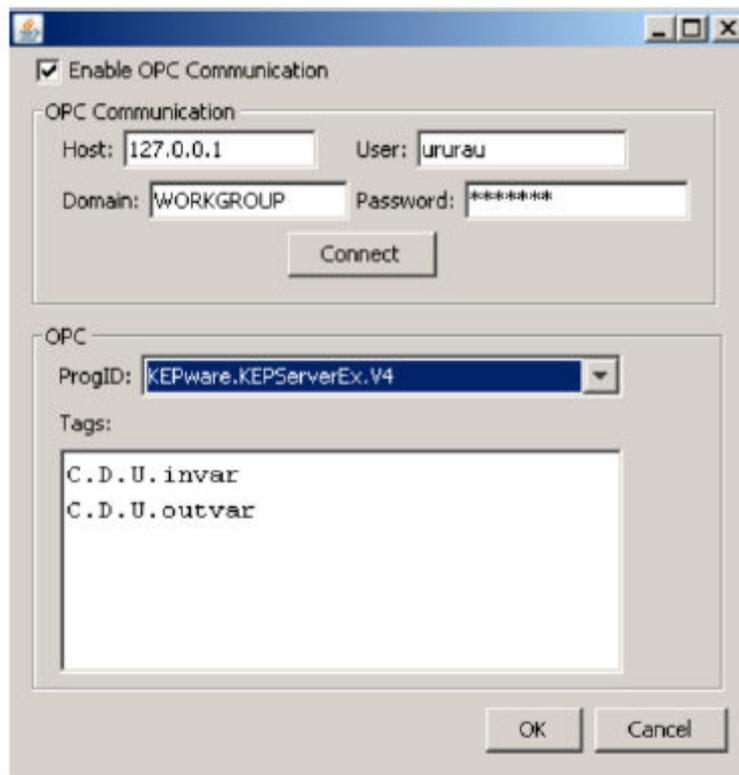


Figura 2: Comunicação OPC do Ururau. Fonte: Cardoso et al. (2014)

2.2.3 Redes neurais artificiais

As redes neurais artificiais (RNA) se baseiam nas redes neurais biológicas, o neurônio matemático, assim como o natural, recebe um ou mais sinais de entrada e devolve um sinal de saída, que pode ser difundido como sinal de saída da rede ou como sinal de entrada para um ou mais neurônios da camada superior. As redes são classificadas como instrumento de processamento paralelo, pois os sinais de entrada chegam simultaneamente aos neurônios (Ludwig Jr. e Costa, 2007). As RNAs são um dos modelos de previsão mais precisos e amplamente usados que tem aplicações em diversas áreas como a social, econômica, engenharia, mercado cambial, problemas de estoque, entre outros (KHASHEI e BIJARI, 2010).

Já foram realizados alguns trabalhos em que o Ururau trabalhou em conjunto com RNAs. O estudo de Silva et al. (2012) teve como objetivo empregar redes neurais artificiais para representar de modo mais realístico ações provenientes de pessoas em modelos de simulação. Para implementar o modelo de simulação com o módulo inteligente, foram usados o ambiente de desenvolvimento de modelos de simulação a eventos discretos Ururau e o software de criação e treinamento de redes neurais artificiais JAVANNS. Já o trabalho de Silva et al. (2014) comparou diferentes frameworks de RNAs verificando seus desempenhos para posteriormente acoplar o mais adequado ao código do Ururau.

3. Problema proposto

Foi realizado um experimento com Ururau para testar a função de decisão com RNA presente no mesmo. Para isto, um problema hipotético simples de escolha entre dois fornecedores foi desenvolvido em que há a necessidade de tomar decisões. Estas referem-se a classificar em aprovado ou reprovado cada uma das entregas por meio da relação emissões/custo. O fornecedor escolhido será aquele que obtiver o maior índice de aprovação das entregas.

A Figura 3 ilustra o referido problema. Nela encontram-se a empresa manufatureira (A), os dois fornecedores (B e C) e a classificação das entregas como aprovada (D) ou reprovada (E).

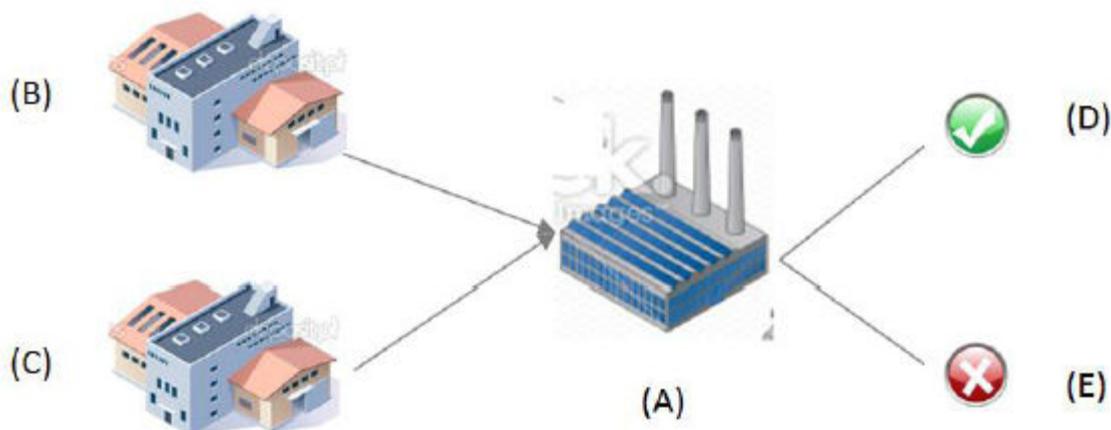


Figura 3: Ilustração do cenário proposto. (A) – Empresa Manufatureira, (B) – Fornecedor 1, (C) – Fornecedor 2, (D) –entregas aprovadas, (E) –entregas reprovadas.

O sistema do problema proposto foi traduzido para um modelo computacional no Ururau que pode ser observado na Figura 4. Os parâmetros do experimento foram definidos com 10 replicações de 1000 horas cada. O módulo E1 é responsável pela criação de veículos (entidades), estes são gerados no modelo a cada 1 hora. As funções F1,F2 representam os processos de carregamento e descarregamento respectivamente. O recurso R1 representa a equipe de carregamento e R2 a equipe de descarregamento. O template EM1 é responsável pelo transporte de entidades e pelo cálculo das emissões que leva em consideração a potência do veículo, tempo de trajeto, carregamento, Peso Bruto Total (PBT) e coeficiente de emissões, esta fórmula pode ser vista no trabalho Rangel e Cordeiro(2015). O template C1 gera os custos de cada entidade, C2 é responsável por contar as entidades e C3 calcula as emissões por cada entidade. Os módulos C4 e C5 fazem a contagem, respectivamente, das entregas aprovadas e reprovados O template marcado com “X” é o módulo decisor em que a RNA atua. Durante o tempo de execução do modelo de simulação, a RNA é ativada sempre que uma entidade precisa passar pelo módulo Decisor e, com isso, precisar tomar uma decisão sobre sua rota. O apêndice A mostra os detalhes sobre os parâmetros da simulação.

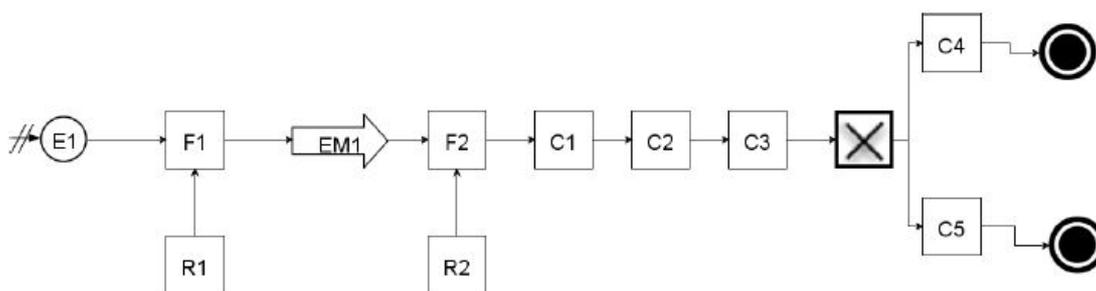


Figura 4: Modelo computacional no Ururau.

A figura 5 mostra a tela de acesso do modulo decisor com RNA para entrada de dados no modelo. Esta tela possibilita a inclusão de novas variáveis, atributos ou expressões nos neuronios de entrada, nesta camada é possível a inclusão de até cinco neurônios. Pode-se optar por uma ou duas camadas ocultas que permitem definir a quantidade de neurônios e a camada de saída é restrita a um neurônio. Além disso, é nesta tela que deve ser inserido o arquivo de treinamento. No caso particular deste trabalho, foram utilizados dois neurônios na camada de

entrada e uma camada oculta com 4 neurônios. O primeiro neurônio da camada de entrada serve para receber as emissões e o segundo para os custos de cada entidade.

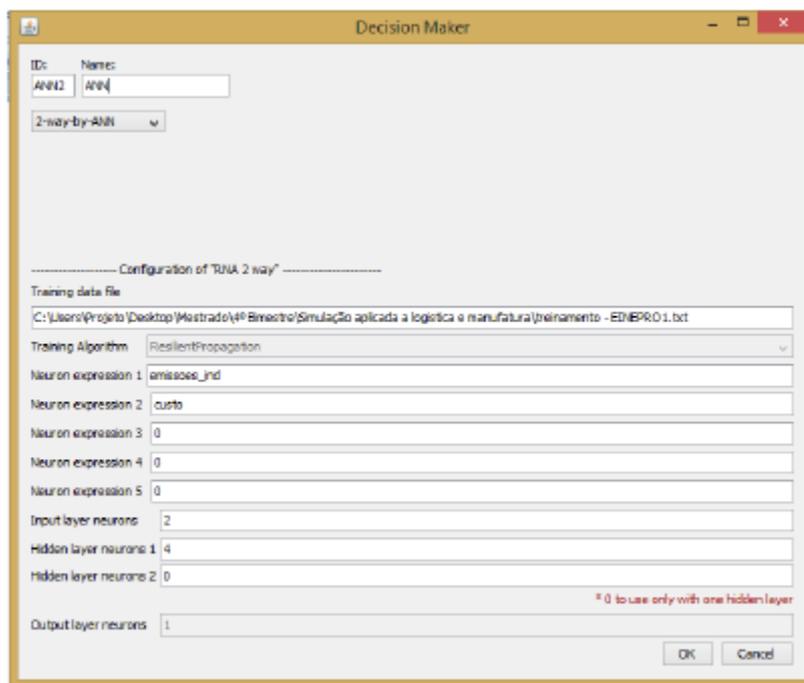


Figura 5: Módulo de decisão com RNA no Ururau.

4. Testes e análises

A validação dos resultados foi realizada induzindo o modelo a apontar o fornecedor 1 com a maior taxa de aprovação. Desta forma foi possível observar se a função de decisão com RNA está funcionando corretamente.

Foi executado o teste para o fornecedor 1, conforme os parâmetros dispostos no Apêndice A. Já o fornecedor 2, tem parâmetros de emissões e custos diferentes como mostra o Quadro 1.

Quadro 1: parâmetros do fornecedor 2 .

Módulo	Nome	Descrição	Dados de Configuração
Emissions	EM1	Calcula as emissões	Variable name: var1 Time(h): NORM(8.85,2.0) Emissions coefficient: 1.5 Power: 136 Load(kg): 20000 Legal Combined Total Whole Weight(kg): 23000
Atribuição	C1	Adiciona uma variável ao modelo.	Tipo: Variável Nome: custo Valor: NORM(3000,400)

Os resultados encontrados na execução desses modelos podem ser observados no Quadro 2 que apresenta um resumo do relatório final gerado pelo simulador nestes cenários.

Quadro 2: resultado das simulações dos Fornecedores 1 e 2 no Ururau.

Fornecedor 1			
Variáveis	Média	Mínimo	Máximo
var1 (emissões totais gCO2)	441.578	433.622	452.183
custo (custo unitário)	2.301	1.726	2.934
entidades	170	170	171
aprovados	142	134	146
reprovados	28	24	36
Fornecedor 2			
Variáveis	Média	Mínimo	Máximo
var1 (emissões totais gCO2)	272.866	268.253	279.014
custo (custo unitário)	3.075	2.736	3.250
entidades	170	170	170
aprovados	77	68	89
reprovados	93	82	103

O quadro 2 mostra que o fornecedor 1 emitiu em média 441.578gCO₂ e as entregas tiveram custos médios de 2.301 unidades monetárias. Além disso, apresentou 142 entregas aprovadas pela rede (84%). O fornecedor 2 gerou 272.866gCO₂ em média e as entregas tiveram um custo médio de 3075 unidade monetárias. Com 77 entregas aprovadas (45%). Pode-se notar que o treinamento foi elaborado para que os custos tivessem maior peso na decisão da RNA do que as emissões.

Foram analisados os processos de cada um dos fornecedores para verificar número e o tempo das entidades nas filas dos processos, conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Resultado da simulação, número e tempo na fila dos processos.

Fornecedor 1				
Processos	Número na Fila	Desvio Padrão	Tempo na Fila	Desvio Padrão
F1	414	0.000	410	0.000
F2	0.134	0.010	0.784	0.058
Fornecedor 2				
Processos	Número na Fila	Desvio Padrão	Tempo na Fila	Desvio Padrão
F1	414	0.000	410	0.000
F2	0.069	0.010	0.403	0.056

Os processos de carregamento e descarregamento foram considerados idênticos para os dois fornecedores. Contudo, os processos de descarregamento apresentam diferenças para tempo e número na fila por se encontrarem após processos de transporte (EM1) com diferenças nos seus parâmetros.

O recurso utilizado na função de carregamento (R1) apresenta taxa de utilização maior do que o recurso utilizado no descarregamento (R2) para os dois fornecedores. Estes recursos são utilizados nas funções F1 e F2. O gráfico da Figura 6 mostra as taxas de utilização dos recursos referentes aos processos dos fornecedores 1 e 2.

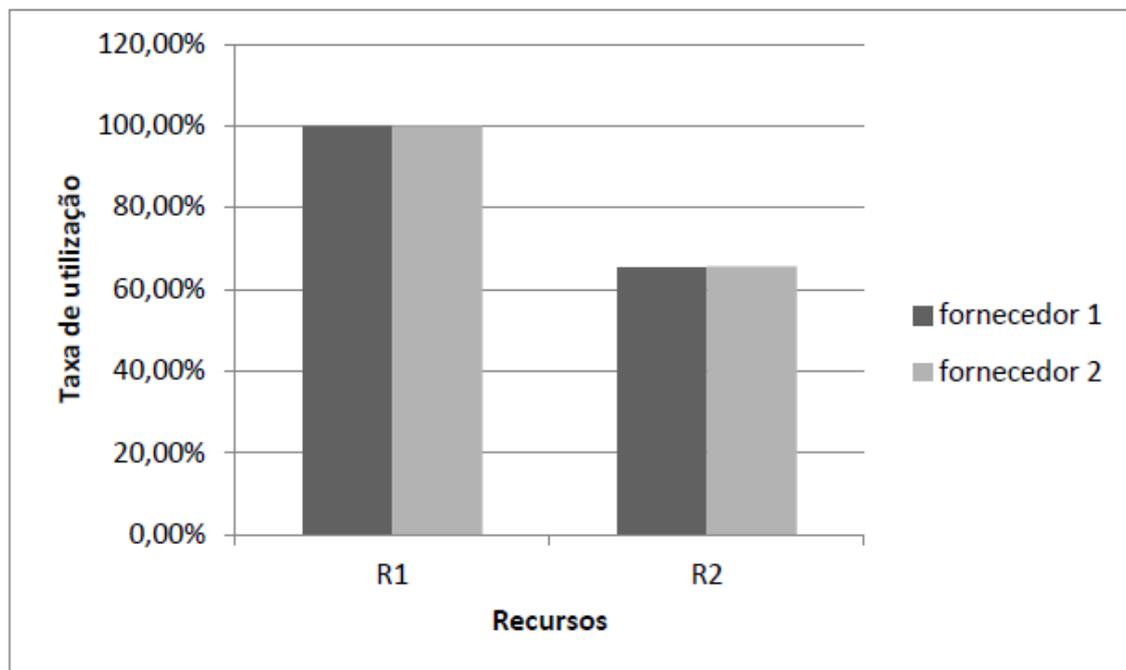


Figura 6: taxa de utilização dos recursos.

5. Considerações Finais

O estudo apresentou uma aplicação do software Ururau com a funcionalidade de decisão com Redes Neurais Artificiais. Para isso, foi elaborado e descrito um modelo hipotético para testar e demonstrar a função de decisão do software. Para validar a função, estabeleceu-se parâmetros tendenciando a escolha de um fornecedor no sistema. Assim, foram feitas análises das variáveis do modelo bem como de suas funções e recursos, avaliando se a mesma gerava resultados dentro do esperado.

Estes primeiros resultados envolvendo emprego de modelos de simulação com decisão através de algoritmos de inteligência computacional no Ururau mostraram a possibilidade de aplicação deste recurso no software. Porém, há a necessidade de realizar mais testes e experimentos a fim de comprovar a eficácia e robustez do software para resolver problemas de natureza semelhante.

Referência

BERGMANN, S; STELZER,S; STRASSBURGE R, S. On the use of artificial neural networks in simulation-based manufacturing control. *Journal of Simulation*, v.8, p.76-90,2014.

CAN, BIRKAN; BEHAM, ANDREAS; HEAVEY, CATHAL.. A comparative study of genetic algorithm components in simulation-based optimisation. In: *Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference*. IEEE Press, p. 1829–1837, 2008.

CARDOSO, L. D. D., RANGEL, J. J.A., NASCIMENTO, A. C., LAURINDO, Q. M. G., &

CAMACHO, J. C. Discrete event simulation for teaching in control systems. In: *Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference*. IEEE Press, p. 3608-3617, 2014.

KHASHEI, MEHDI; BIJARI, MEHDI. An artificial neural network (p, d, q) model for timeseries forecasting. *Expert Systems with Applications*, v. 37, n. 1, p. 479-489, 2010.

LACERDA, ESTÉFANE GM; CARVALHO, ACPLF. *Introdução aos algoritmos genéticos. Sistemas inteligentes: aplicações a recursos hídricos e ciências ambientais*, v. 1, p. 99-148, 1999.

LUDWIG JR., O.; COSTA, EDUARD MONTGOMERY M. *Redes Neurais: Fundamentos e Aplicações com programas em C*. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda. 2007.

PEIXOTO, T. A.; RANGEL, J. J. A.; MATIAS, I. O. Ururau - Um Ambiente de Simulação a Eventos Discretos. In: *XLIII SBPO*. Ubatuba - SP, 2011.

PEIXOTO, T. A.; RANGEL, J. J. D. A.; MATIAS, Í. D. O.; MONTEVECHI, J. A. B.;

MIRANDA, R. D. C. Ururau-um ambiente para desenvolvimento de modelos de simulação a eventos discretos. *Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, v. 5, n. 3, p. 373-405, 2013.

PONSIGNON, THOMAS; MÖNCH, LARS. Simulation-based performance assessment of master planning approaches in semiconductor manufacturing. *Omega*, v. 46, p. 21-35, 2014.

RANGEL, J. J.; CORDEIRO, A. C. A. Free and Open-Source Software for sustainable analysis in logistics systems design. *Journal of Simulation*, v. 9, p. 27-42, 2015.

Robinson, S; Alifantis, T; Hurrion, R; Edwards, JS; Ladbrook, J; Waller, T. Modelling and Improving Human Decision Making With Simulation. In: *Winter Simulation Conference*, IEEE Press, p. 913-920, 2001.

SILVA, D.V.C.; RANGEL, J.J.A.; MATIAS, I.O.; VIANNA, D.S.; PEIXOTO, T.A. Modelos de simulação a eventos discretos com aspectos de decisão humana: uma aplicação com o ururau. *PODes - Revista Eletrônica Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, v.4, n.3, p.339-355, 2012

SILVA, M. G. D.; RANGEL, J. J. A.; SILVA, D. V. C.; PEIXOTO, T. A.; MATIAS, Í. O. Decisão com redes neurais artificiais em modelos de simulação a eventos discretos. *Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, v. 6, n. 2, p. 299-317, 2014.

APÊNDICE A - Módulos do Ururau com descrição e dados de configuração

Módulo	Nome	Descrição	Dados de Configuração
Criar	E1	Responsável pela criação de entidades.	T. Chegadas: Const. (1 h) T. Prim. Chegada: 0.0 h Máx. Chegadas: Infinity
Loading Process	F1	Executa um processo	Type: Expression Value: (23000/4000)
Unloading Process	F2	Executa um processo	Type: Expression Value: 23000/6000
Resource Team for Loading	R1	Adiciona um recurso	Capacity 1
Resource Team for Unloading	R2	Adiciona um recurso	Capacity 1
Emissions	EM1	Calcula as emissões	Variable name: var1 Time(h): NORM(12.45,3.0) Emissions coefficient: 1.5 Power: 136 Load(kg): 23000 Legal Combined Total Whole Weight(kg): 23000
Atribuição	C1	Adiciona uma variável ao modelo.	Tipo: Variável Nome: custo Valor: NORM(2300,500)
Atribuição	C2	Adiciona uma variável ao modelo.	Tipo: Variável Nome: entidades Valor: entidades+1
Atribuição	C3	Adiciona uma variável ao modelo.	Tipo: Variável Nome: emissoes_ind Valor: var1/entidades
Atribuição	C4	Adiciona uma variável ao modelo.	Tipo: Variável Nome: aprovado
			Valor: aprovado+1
Atribuição	C5	Adiciona uma variável ao modelo.	Tipo: Variável Nome: reprovado Valor: reprovado+1
X (Decisor)	X1	Desvia a execução de uma função.	Tipo: ANN com 2 caminhos Arquivo de Treinamento: C:\Mestrado\ \Simulação aplicada a logistica e manufatura\treinamento1.txt Algoritmo: ResilientPropagation Exp. Neurônio 1: emissoes_ind Exp. Neurônio 2: custo Exp. Neurônio 3: 0 Exp. Neurônio 4: 0 Exp. Neurônio 5: 0 Nº Neurônios Camada Entrada: 2 Nº Neurônios Camada Oculta: 4 Nº Neurônios Camada Saída: 1