

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA ANÁLISE DO TRANSPORTE DE TIJOLOS PRODUZIDOS NO NORTE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Leonardo das Dores Cardoso

Instituto Federal Fluminense - IFF

leocardoso@iff.edu.br

João José de Assis Rangel

Universidade Candido Mendes - UCAM-Campos

joao@ucam-campos.br

Eduardo Shimoda

Universidade Candido Mendes - UCAM-Campos

shimoda@ucam-campos.br

Resumo

A prevista instalação de balanças para o controle da carga dos caminhões foi identificada pelos gestores do Polo Ceramista Fluminense como um cenário restritivo, podendo elevar o preço dos tijolos ao consumidor final. Diante desta nova conjuntura, foi levantada a hipótese de se utilizar a ferrovia existente como uma alternativa para viabilizar o escoamento da produção. Desta forma, foi utilizada então simulação computacional com projeto de experimentos como ferramenta de avaliação da dinâmica das novas operações e análise dos métodos de manuseio de carga, tipo de vagão, volume dos estoques, máquinas necessárias, dentre outras questões relativas ao novo sistema logístico que se apresentou. Os resultados mostram que a utilização dos procedimentos operacionais corretos pode viabilizar o manuseio e transporte da carga e proporcionar melhores resultados para o escoamento da produção.

Palavras Chave: Simulação; Tijolos; Ferrovia.

Abstract

The planned installation of scales to control the loading of the trucks was identified by managers of the Fluminense Ceramist Pole as a restrictive scenario, possibly raising the price of bricks to the final consumer. Facing this new situation, it has been hypothesized to use the existing railroad as a viable alternative to the production flow. Thus, it was used computer simulation with design of experiments as a tool for assessing the dynamics of the new methods and analysis of cargo handling, type of wagon, level of inventories, machinery necessary, amongst other matters concerning the new logistics system that was presented. The results show that the use of correct operational procedures can facilitate the handling and transportation of cargo and provide better results for the flow of production.

Keys Words: Simulation, Bricks, Rail road.

1. Introdução

O Escritório Regional Norte do SEBRAE/RJ e a Rede Campos Cerâmica (RCC), gestores do Arranjo Produtivo Local (APL) da cerâmica vermelha do estado do Rio de Janeiro, identificaram um cenário restritivo a se instalar no sistema de escoamento da produção de tijolos com a prevista construção de balanças para controle de cargas na BR-101 (trecho Rio - Campos - Vitória). Esta nova perspectiva implica a limitação da carga transportada pelos caminhões e o conseqüente aumento dos custos do produto. Uma possível alternativa viável para o escoamento da produção do Polo Ceramista Fluminense seria a utilização da ferrovia existente e em operação sob concessão pública à Ferrovia Centro Atlântica (FCA). Esta nova conjuntura e suas possibilidades demandam então uma análise detalhada do funcionamento do sistema logístico regional, de maneira a se avaliar a utilização do modal ferroviário existente e os métodos para o manuseio da carga, como uma alternativa viável para o transporte dos tijolos.

De uma forma geral, as operações logísticas são responsáveis por grande parte dos custos operacionais de uma empresa. Tal fato se acentua em produtos de baixo valor agregado, como o tijolo em particular, onde o valor do transporte e o custo de manuseio influenciam fortemente no valor final do produto. Isto pode dificultar o acesso a mercados consumidores relativamente distantes do centro produtor. Assim, é possível que mesmo instalada em uma região com potencial de matéria-prima, a empresa não alcance os centros consumidores potenciais, devido ao alto custo de transporte e manuseio. No entanto, procedimentos logísticos corretos, como: formas de movimentação das cargas, modal utilizado, tamanho do estoque, capacidade de transporte, dentre outros fatores podem reduzir os referidos custos, possibilitando, além de maiores lucros, melhor qualidade do produto e redução de perdas (SANTOS, 2004). Operando deste modo é possível disponibilizar um produto de qualidade e preço acessível ao consumidor final (BALLOU, 2006). Neste aspecto, a simulação a eventos discretos (SED) tem sido amplamente utilizada nas últimas décadas por pesquisadores e gestores de empresas para análise e auxílio à tomada de decisão em operações de sistemas dinâmicos, em particular envolvendo os sistemas logísticos e de manufatura (SALIBY, 1999).

Em recente artigo de Costa, Montevechi e Pinho (2010) foi identificado que nos trabalhos publicados com SED na última década, nas principais bases de dados de publicações científicas da área de engenharia (Elsevier, Emerald e Informs), 66% destes envolviam simulação a eventos discretos combinada com projeto de experimentos. Cita ainda que esta abordagem ocorreu de forma crescente no mesmo período avaliado. Assim, esta observação coloca a integração destas técnicas como uma área de pesquisa atual e de relevância científica para problemas relacionados à logística e manufatura. Motivado então pelo contexto abordado, este artigo apresenta um estudo através de SED combinada com projeto de experimentos para análise das operações dinâmicas do sistema logístico para escoamento da produção dos tijolos produzidos na região norte do estado do Rio de Janeiro. Espera-se que os resultados apresentados neste trabalho sejam úteis para apoiar um posterior estudo de viabilidade econômica da logística do Polo Ceramista Fluminense e assim auxiliar a tomada de decisão dos gestores envolvidos.

2. Descrição do Sistema de Transporte de Tijolos para o Polo Ceramista Fluminense

O sistema proposto e modelado no presente trabalho para o Polo Ceramista Fluminense é composto pelas empresas ceramistas, estações ferroviárias, trechos da malha ferroviária e rodovias de acesso. A Figura 1 mostra então a representação esquemática do sistema, onde está sendo considerada a alternativa para o escoamento da produção de tijolos através do trecho da ferrovia FCA que se encontra em operação com outros tipos de cargas.

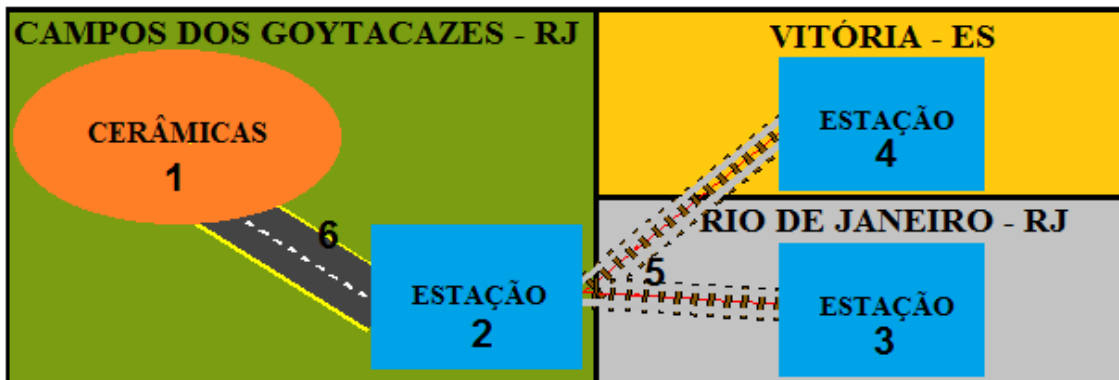


Figura 1: Representação esquemática do sistema simulado. 1- Cerâmicas: representa o Polo Ceramista Fluminense; 2- Estação Ferroviária de Campos dos Goytacazes: local de origem; 3 e 4- estações do Rio de Janeiro/RJ e Vitória/ES: locais de destino; 5- trechos de malha ferroviária existente e; 6- rodovias de acesso dos caminhões às cerâmicas e estações.

No sistema atual que se encontra em operação, os caminhões carregados com tijolos não paletizados seguem diretamente das empresas produtoras para o destino final, utilizando a BR-101. Já no sistema proposto, os tijolos devem ser armazenados em paletes para, deste modo, facilitar o manuseio da carga no embarque e desembarque em caminhões e vagões. Em recente estudo de Rangel *et al* (2009) foi avaliada a influência da ação dos operadores na dinâmica geral do sistema de transporte de tijolos, considerando aspectos como: paletização e embarque, o tempo total dos processos de manuseio e a taxa de utilização dos operadores e equipamentos. Estes resultados indicaram o manuseio dos tijolos em paletes como uma alternativa para se obter ganhos com o sistema através de reduções com as perdas e o aumento nas taxas relativas às operações de carregamentos e descarregamentos (CAPOZZIELLO e CAPOZZIELLO, 1981).

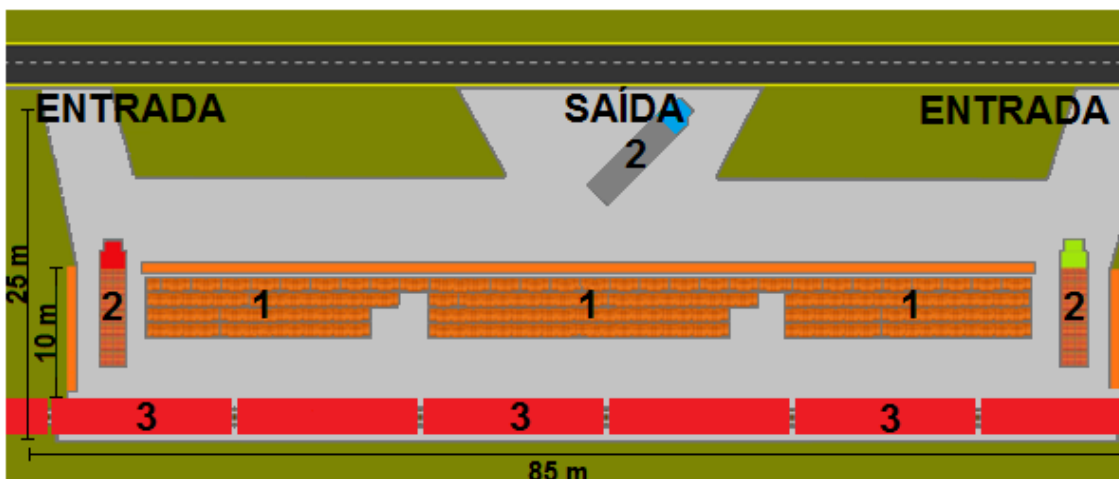


Figura 2: Representação esquemática do Centro de Distribuição proposto com 2125m². Onde: 1- Estoque de paletes de tijolos; 2- Caminhões; 3- Vagões.

O sistema foi então considerado com as seguintes hipóteses para o delineamento de seu contorno e condições iniciais:

- a) as estações têm o mesmo porte, ou seja, tanto a estação de Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro e Vitória, possuem as mesmas dimensões para as áreas de movimentação de cargas e estocagem dos tijolos paletizados;
- b) a construção de uma nova estação para o CD em Campos, fora do perímetro urbano;

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

- c) o início das operações do sistema se dá a partir da saída dos caminhões carregados com paletes de tijolos das cerâmicas;
- d) o primeiro trem chega a estação segunda-feira às 7 horas, quando se iniciam as operações;
- e) o final das operações ocorrem quando um total de 5 trens completos são descarregados;
- f) o estoque foi iniciado com um total de 700 (setecentos) paletes ;
- g) os paletes não retornam para as cerâmicas, pois em um primeiro momento a prioridade foi analisar detalhadamente as operações do escoamento da produção.

As operações do sistema se iniciam com a saída dos caminhões carregados com paletes de tijolos das cerâmicas. Os caminhões se dirigem então para a estação de Campos dos Goytacazes, onde deverão ser descarregados e os paletes armazenados. Em um determinado momento, o trem é disponibilizado pela companhia ferroviária para que se inicie o processo de carregamento dos vagões. Uma vez carregado, o trem segue para a estação na qual se deseja descarregar o referido produto, no Rio de Janeiro ou Vitória - ES. Chegando ao destino final, os vagões são descarregados e os paletes armazenados para que posteriormente sejam novamente carregados em caminhões e distribuídos, conforme a demanda, para os consumidores finais.

Destaca-se que apesar de se gerar um maior custo para implantação, foi proposta nesta análise a criação de novos terminais, para assim permitir a escolha de fatores importantes como dimensões, localização e outros parâmetros do sistema. A estação proposta deve ocupar desta forma aproximadamente 2125 m² (25 x 85 metros), como mostra a Figura 2, área esta que possibilita a movimentação de caminhões e equipamentos de transbordo de cargas. As medidas citadas anteriormente não consideraram área para manobra das locomotivas e vagões, que apesar de serem essenciais para uma estação ferroviária, não são relevantes para análise das movimentações das cargas no interior do galpão, como requerido no respectivo sistema.

3. Modelo de Simulação

O modelo de simulação do sistema aqui proposto foi desenvolvido orientado pela metodologia proposta por Banks *et al* (2009), com os seguintes passos: formulação e análise do problema; planejamento do projeto; formulação do modelo conceitual; coleta de macro-informações e dados; tradução do modelo; verificação e validação; projeto experimental; experimentação; interpretação e análise estatística dos resultados; comparação e identificação das melhores soluções; documentação e apresentação dos resultados. O modelo foi construído considerando um período de tempo pré-estabelecido para o início e término das operações, caracterizando assim, como um modelo de um sistema terminal (WHITE JUNIOR. K. P. AND INGALLS R. G., 2009).

O modelo conceitual do sistema foi traduzido para o software Arena[®] 12 para realização das simulações computacionais (KELTON, 2007). Durante a verificação e validação do modelo foi seguida adicionalmente a orientação metodológica proposta por Sargent (2010), destaca-se neste caso, consultas com especialistas da FCA e gestores do APL. As simulações apenas foram iniciadas após a verificação e validação por completo do modelo, garantido que os pressupostos e as hipóteses estavam corretamente implementadas no modelo computacional (CHWIF, 2008). A Figura 3 mostra o modelo conceitual do sistema e o Quadro 1 apresenta as informações referentes às regras operacionais e aos tempos dos processos. Utilizaram-se os elementos do IDEF-SIM (MONTEVECHI *et al*, 2010) para descrição do respectivo sistema.

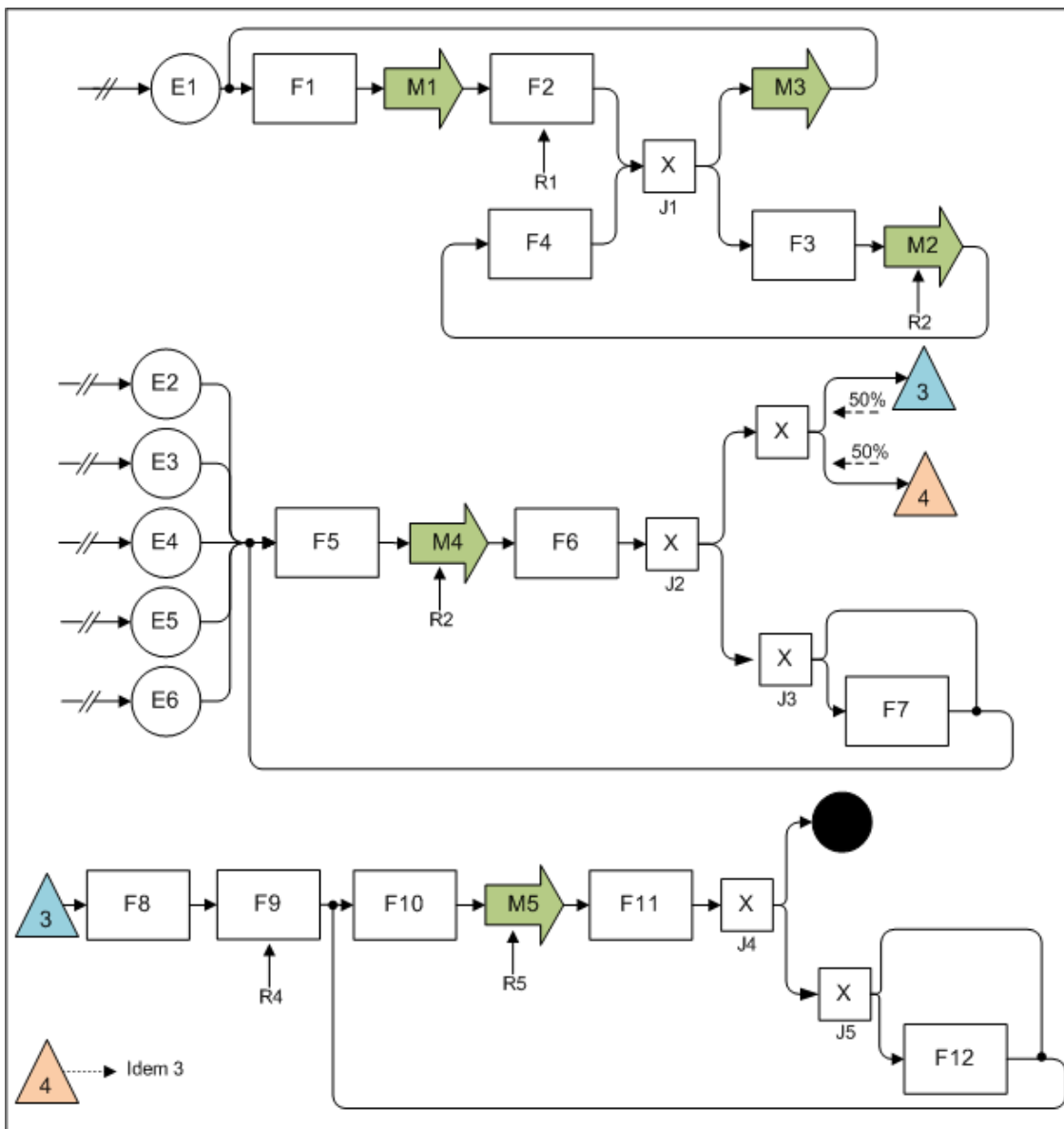


Figura 3: Modelo conceitual do sistema simulado.

Foram utilizadas funções de distribuição de probabilidades do tipo Normal para os tempos dos processos e operações de movimentações de carga. Esta premissa foi adotada considerando que os dados do presente modelo foram estimados a partir de consultas com os especialistas sobre o assunto e conhecedores destas operações na região. A função Normal pode ser utilizada, segundo Freitas Filho (2008), em processos onde se tem aleatoriedade causada por várias fontes agindo de forma aditiva, conseqüentemente, possuindo um ponto médio com desvio simétrico para mais e para menos. Assim, o modelo de simulação construído para o presente trabalho possui um conjunto de regras operacionais e aleatoriedades que se interagem com muitas variáveis dependentes caracteriza-se como um típico modelo estocástico de simulação a eventos discretos.

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

Quadro 1: Parâmetros do modelo conceitual do sistema modelado.

ELEMENTO	DESCRIÇÃO	PARÂMETROS
E1	Cria a quantidade de caminhões	Início do 1º dia (0 horas)
E2	Cria a quantidade vagões	Início do 1º dia (0 horas)
E3	Cria a quantidade vagões	Início do 2º dia (8 horas)
E4	Cria a quantidade vagões	Início do 3º dia (16 horas)
E5	Cria a quantidade vagões	Início do 4º dia (24 horas)
E6	Cria a quantidade vagões	Início do 5º dia (32 horas)
F1	Tempo paletização e embarque de paletes no caminhão	Normal (195; 19.5) minutos
F2	Processo controle do Fluxo de Caminhões	Normal (60; 6) segundos
F3	Tempo de posicionamento da empilhadeira	Normal (30; 3) segundos
F4	Tempo de posicionamento do palete	Normal (30; 3) segundos
F5	Tempo de posicionamento da empilhadeira	Normal (30; 3) segundos
F6	Tempo de posicionamento do palete	Normal (30; 3) segundos
F7	Tempo para início do carregamento do novo vagão	Normal (50; 5) segundos
F8	Tempo de manobra do trem	Normal (10; 1) minutos
F9	Processo controle do fluxo de trens	Normal (120; 60) segundos
F10	Tempo de posicionamento da empilhadeira	Normal (30; 3) segundos
F11	Tempo de posicionamento do palete	Normal (30; 3) segundos
F12	Tempo para início do descarregamento do novo vagão	Normal (50; 5) segundos
M1	Caminhão transporta os paletes da cerâmica para estação	Normal (60; 30) minutos
M2	Empilhadeira transporta palete do caminhão para estoque	2 m/s; (38 ou 45) metros
M3	Caminhão retorna para cerâmica	Normal (50; 25) minutos
M4	Empilhadeira transporta os paletes para o vagão	2 m/s; (8) metros
M5	Empilhadeira transporta palete do vagão para estoque	2 m/s; (8) metros
J1	Função quantidade de paletes no caminhão	$V_Qtd_Caminhão = 14$
J2	Função quantidade de vagões carregados	$V_Vagões_Carregados = 5$
J3	Função quantidade de paletes no vagão	$V_Qtd_Vagão = 22$
J4	Função quantidade de vagões descarregados	$V_Vagões_Des = x$
J5	Função Quantidade de paletes descarregados do vagão	$V_Qtd_Vagão_Destino = 22$
R1	Operador controlador estação ferroviária Campos	1 operador
R2	Empilhadeira Campos	1 unidade
R3	Controlador estação ferroviária destino (RJ ou ES)	1 operador
R4	Empilhadeira destino (RJ ou ES)	1 unidade

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

A Tabela 1 apresenta a cronologia das operações de chegada dos caminhões e vagões. Considera-se que no início do primeiro dia de simulação (segunda-feira às 7 horas), uma determinada frota de caminhões é criada e se inicia o carregamento dos mesmos. Além disso, ao início de cada dia (às 7 horas) uma determinada frota de vagões (E2 - E6) é disponibilizada e inicia-se o processo de carregamento dos mesmos, utilizando os paletes previamente estocados na estação em um total de 700 paletes.

Tabela 1: Cronologia das operações de chegadas de caminhões e vagões.

Horário	Atividade
Segunda-feira às 7h	Criação da frota e início do carregamento dos caminhões
Segunda-feira às 7h	Chegada dos vagões
Terça-feira às 7h	Chegada dos vagões
...	(repetição das operações)...
Sexta-feira às 7h	Chegada dos últimos vagões para a semana

O funcionamento do sistema ocorre da seguinte forma. As operações têm início nas cerâmicas, onde os tijolos são agrupados sobre o paleta e cintados com o auxílio de operadores, tornando-se desta forma um único conjunto monolítico. Posteriormente os tijolos paletizados são embarcados nos caminhões com o auxílio de uma empilhadeira (F1). No final os caminhões carregados se deslocam para a referida estação ferroviária (M1). Ao chegar à estação, os caminhões são inspecionados (F2) pelos controladores (R1), descarregados (F3) pelas respectivas empilhadeiras (R2), transportados para o estoque (M2) e armazenados (F4). Estas últimas operações se retem até que o caminhão esteja totalmente descarregado, ou seja, até que os 14 paletes de tijolos sejam armazenados. Após o descarregamento, o caminhão retorna (M3) para cerâmica, iniciado novamente o processo.

O carregamento dos vagões se inicia quando a empilhadeira (R2) busca o primeiro paleta a ser carregado (F5), o transporta (M4) até o vagão e o embarca (F6). Esta sequência de operações se repete até que sejam carregados 22 (vinte e dois) paletes no vagão. Então, a empilhadeira é deslocada e preparada (F7) para o início do carregamento de um novo vagão. Após o carregamento da quantidade de vagões especificada no modelo, o trem está pronto para seguir para a estação que se deseja transportar os paletes de tijolos, Rio de Janeiro ou Vitória, a uma probabilidade de 50% para cada cidade.

Ao chegar à estação destino o trem é manobrado (F8), aferido (F9) pelo controlador (R4), e então, inicia-se o processo de descarregamento dos paletes dos vagões. Os paletes são descarregados (F10) pela empilhadeira, transportados (M5) e armazenados (F11) no estoque. Estas operações ocorrem até que o primeiro vagão seja totalmente descarregado. Após finalizar o carregamento do primeiro vagão, a empilhadeira é deslocada até o novo vagão e prepara-se (F12) para reiniciar o descarregamento. A referidas operações ocorrem até que os vagões dos cinco trens sejam totalmente descarregados, encerrando a simulação.

4. Experimentos Simulados

A quantidade de replicações para execução do modelo foi obtida através da análise da dispersão do tempo final do descarregamento de 5 (cinco) trens completos no referido destino. Cada cenário foi simulado variando-se o número de replicações de 50 a 500. Os resultados obtidos foram analisados obtendo-se o número de replicações em que ocorria a estabilização dos resultados. O gráfico da Figura 4 apresenta a avaliação do número de replicações de um

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

dos cenários. Ao utilizar a quantidade de 300 (trezentas) replicações, obteve-se uma dispersão de menos de 0,003 horas (0,007%).

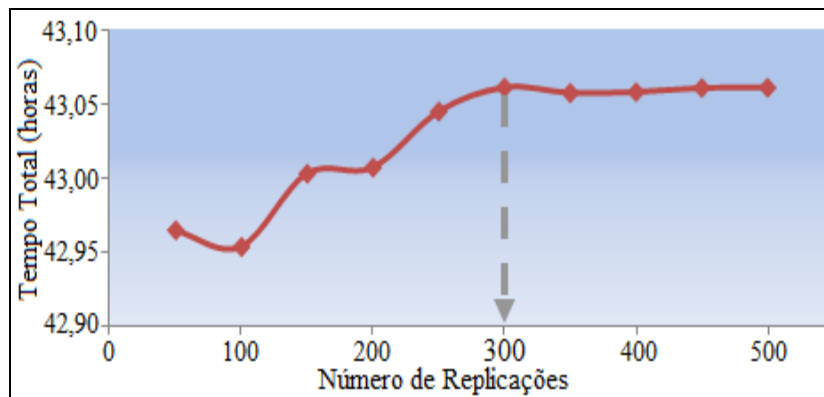


Figura 4: avaliação gráfica da influência do número de replicações.

As variáveis que podem ser controlados pelo modelo são chamadas de Fatores. Neste trabalho os Fatores foram os seguintes: a frota de caminhão criada no início da simulação e responsável pelo transporte dos tijolos para a FCA, o número de vagões a serem disponibilizados pela FCA para o transporte de tijolos e a quantidade de empilhadeiras utilizadas na estação de Campos dos Goytacazes. Foram utilizados alternadamente tanto vagões abertos quanto fechados na elaboração da tabela de cenários.

Um fator pode assumir diversos níveis em um modelo de simulação. O fator empilhadeira assume dois diferentes níveis: uma ou duas empilhadeiras. Os fatores frota de caminhão e quantidade de vagões disponíveis variam a três níveis: 5 (cinco), 6 (seis) ou 7 (sete) caminhões e 5 (cinco), 6 (seis) ou 7 (sete) vagões, respectivamente (Tabela 2). A utilização de dois níveis de empilhadeira se dá pelo fato desta, não ter proporcionado durante os testes ganhos significativos no desempenho do sistema, não justificando assim um terceiro nível.

Tabela 2: Relação de Fatores e Níveis atribuídos ao modelo de simulação.

Fatores	Níveis
Empilhadeira	1 ou 2 Empilhadeiras
Frota de Caminhões	5, 6 ou 7 Caminhões
Vagões disponíveis	5, 6 ou 7 Vagões/dia

Os valores dos níveis inferiores dos fatores foram determinados de modo a representar a utilização deste sistema para o transporte de 10% do volume total transportado atualmente pelo Polo Ceramista. A utilização de outros níveis objetiva a análise do ganho de escala do sistema, ou seja, a vantagem obtida devido ao aumento da produção transportada. Tal vantagem é proporcionada pela melhor utilização dos equipamentos e do espaço disponibilizado para as operações.

Segundo a metodologia para um projeto fatorial completo, proposta por Montgomery (2009), considerando “k” a quantidade de fatores existentes e “n” os respectivos níveis de cada fator, obtêm-se a quantidade de cenários elevando a quantidade de fatores à quantidade de níveis correspondentes, ou seja, n^k . Assim, com o fator empilhadeira variando em dois níveis diferentes, e com os fatores frota de caminhões e vagões disponíveis, variando a três níveis, tem-se $2^1 \times 3^2$, ou seja, 18 cenários, como descrito no Quadro 2.

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

5. Análise dos Resultados

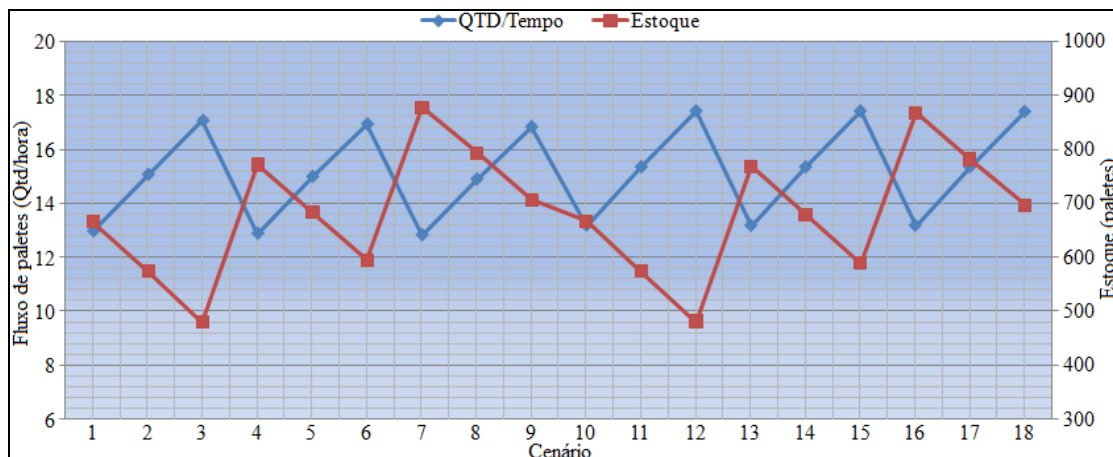
O Quadro 2 apresenta os resultados do modelo de simulação após a execução de 18 cenários diferentes. Podem ser observados os seguintes resultados: (a) a combinação dos fatores que deram origem aos diferentes cenários; (b) a quantidade de replicações para a execução das rodadas de simulação com vagões abertos e fechados; (c) o tempo total para a realização de todas as operações para o transporte da carga; e (d) a quantidade final de tijolos em estoque na estação de Campos dos Goytacazes.

Quadro 2: Resultados do modelo de simulação

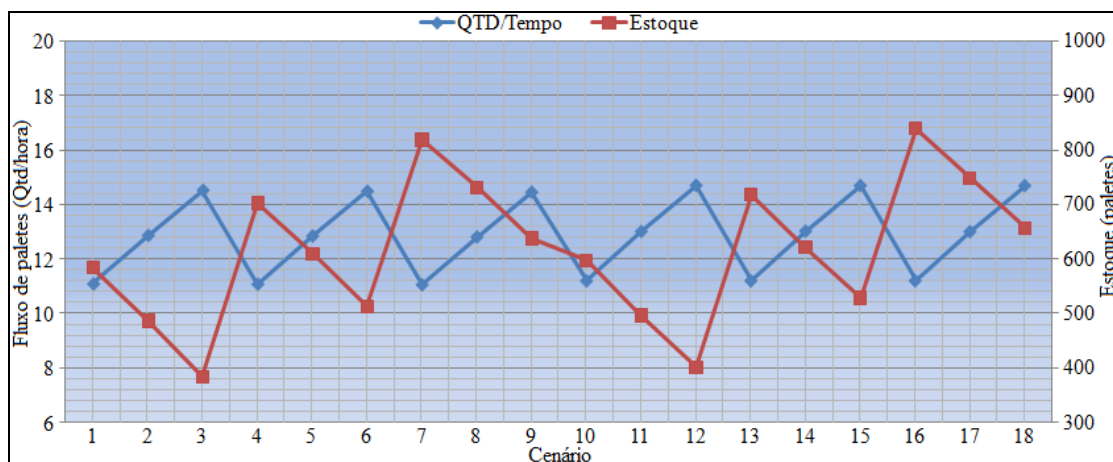
C E N Á R I O	FATORES			Nº REPLICAÇÕES		TEMPO (HORAS)		ESTOQUE (PALETES)	
	Empilhadeira	Caminhão	Vagão	Vagão Aberto	Vagão Fechado	Vagão Aberto	Vagão Fechado	Vagão Aberto	Vagão Fechado
1	1	5	5	250	350	42,4650	49,5756	665	584
2	1	5	6	300	400	43,8570	51,3216	574	486
3	1	5	7	150	350	45,1882	53,0856	479	384
4	1	6	5	400	150	42,7407	49,6292	771	702
5	1	6	6	300	350	44,0884	51,4184	683	609
6	1	6	7	400	400	45,5286	53,2241	594	513
7	1	7	5	300	200	42,9372	49,7265	876	818
8	1	7	6	450	100	44,3665	51,5482	792	731
9	1	7	7	350	350	45,8084	53,349	706	638
10	2	5	5	200	300	41,7483	49,0864	665	597
11	2	5	6	300	450	43,061	50,7565	574	496
12	2	5	7	350	250	44,2647	52,456	480	401
13	2	6	5	500	400	41,7964	49,0745	767	718
14	2	6	6	400	100	43,0726	50,7069	679	621
15	2	6	7	350	150	44,2719	52,4812	588	529
16	2	7	5	450	250	41,7914	49,0679	867	839
17	2	7	6	350	100	43,068	50,7851	781	748
18	2	7	7	400	250	44,3213	52,4793	695	657
Tempo médio						43,4648	51,0533		

A Figura 5(a,b) mostra graficamente o comportamento do sistema apresentado no Quadro 2. É possível notar que há uma grande semelhança entre o comportamento dos sistemas quando é utilizado o vagão aberto e fechado. Porém, o vagão aberto proporciona um considerável ganho na velocidade. Enquanto a utilização do vagão aberto chega-se a um tempo médio de 43,4648 horas, o vagão fechado apresenta uma média de 51,0533 horas, ou seja, a utilização do vagão fechado reduz o tempo médio das referidas operações em 7,5885 horas. Tal fato pode ser atribuído a não necessidade de posicionamento dos paletes no interior do vagão, reduzindo assim o tempo de carregamento do vagão.

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO



(a): Gráfico comportamento do modelo utilizando vagões abertos.



(b): Gráfico comportamento do modelo utilizando vagões fechados.

Figura 5: Resultados obtidos para o sistema utilizando vagões abertos (a) e fechados (b).

Analisando o comportamento do sistema verifica-se uma periodicidade no fluxo de tijolos, onde os três primeiros cenários apresentam uma tendência crescente de paletes no destino final a cada hora. Este crescimento é atribuído ao ganho de escala obtido com aumento de vagões utilizados para o transporte dos referidos paletes de tijolos. Periodicidade esta que se repete até o cenário 9, quando o sistema passa a utilizar duas empilhadeiras na estação origem (Campos dos Goytacazes). A utilização de mais uma empilhadeira proporciona um pequeno aumento na velocidade do sistema, ou seja, menos de um palete a cada hora.

Já a variável estoque se comporta de maneira decrescente nos três primeiros cenários, em decorrência do aumento dos vagões carregados no sistema. No entanto, como pode ser notado nas Figuras 5(a) e 5(b), cenários 4, o estoque apresenta uma descontinuidade abrupta, devido ao aumento da frota de caminhões e da redução da quantidade de vagões a serem carregados. Tal descontinuidade se torna frequente até o nono cenário quando há novamente uma redução da frota de caminhões e a adição de mais uma empilhadeira sendo que esta última não apresenta ganhos significativos na quantidade estocada. A pequena influência da adição de uma empilhadeira na quantidade estocada pode ser comprovada ao se comparar o cenário 1 com o cenário 9. Ambos possuem a mesma quantidade de vagões e mesma frota de caminhões, mas o nono possui duas empilhadeiras enquanto o primeiro apenas uma.

Analisando os resultados obtidos é possível apontar o cenário 9 como um dos mais indicados para as referidas operações. Apesar de apresentar um maior tempo quando comparado a outros que utilizam vagões abertos, neste cenário são descarregados 7 (sete)

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

vagões a cada uma das 5 (cinco) vezes que os vagões são direcionados ao destino (Rio ou Vitória). Além disto, o estoque manteve-se praticamente inalterado durante o tempo analisado, com uma variação de 6 (seis) paletes – dos 700 (setecentos) iniciais, no decorrer de todo tempo simulado – ou seja, menos de 1%. Tal fato mostra uma estabilidade do sistema, parâmetro essencial em sistemas com operações interdependentes.

Outro cenário indicado é o cenário 5, onde há uma menor quantidade de vagões diários disponíveis. Este pode ser indicado como um cenário adequado o transporte de uma menor proporção da produção de tijolos atual. Apesar de o estoque apresentar uma maior variação que o cenário 9, esta variação é aceitável, pois poderia ser compensada como um maior fluxo de caminhões diário, meio expediente de sábado por exemplo.

Para verificar o efeito dos fatores (frota de caminhões, quantidade de vagões disponíveis, quantidade de empilhadeiras) sobre as variáveis de respostas (estoque e tempo), foram geradas equações de regressão múltipla, com auxílio do software SAEG[®]. Como as interações apresentaram influência significativa, as variáveis frota de caminhões e quantidade de vagões disponíveis não foram analisadas separadamente, mas sim o efeito conjunto na interação. As Figuras 6 e 7 mostram o efeito dos fatores e das interações no comportamento do sistema. O tempo refere-se ao período necessário para completar todas as operações de movimentações para descarregar 5 (cinco) trens nas estações de destino.

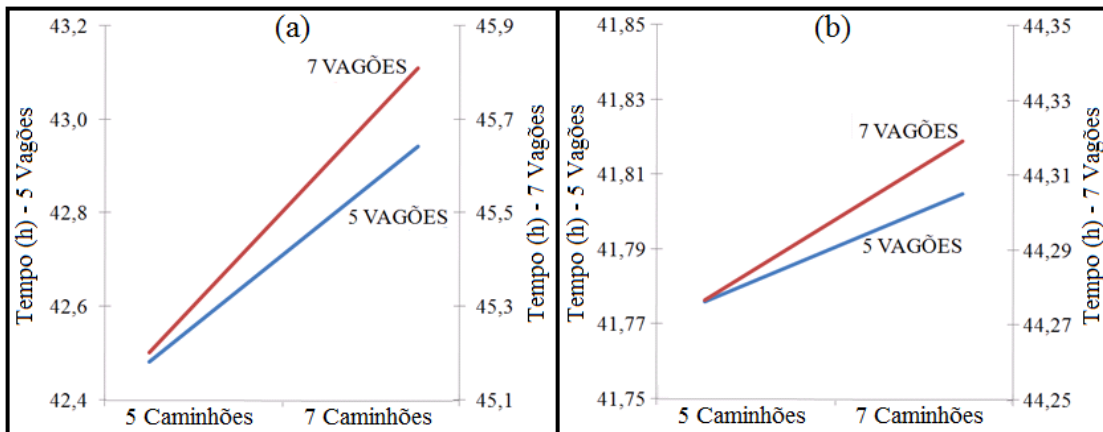


Figura 6: Gráficos interações e fatores, influência dos fatores no tempo com: (a) uma empilhadeira e vagões abertos; (b) duas empilhadeiras e vagões abertos.

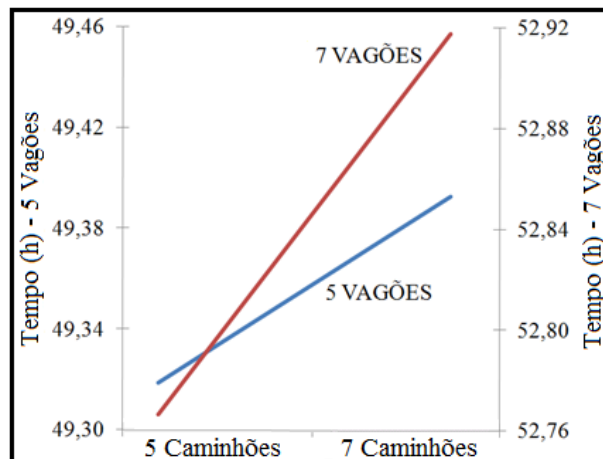


Figura 7: Gráficos interações e fatores, influência dos fatores no tempo com uma empilhadeira e vagões fechados.

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

Devido à existência de um estoque no sistema, a influência dos fatores (caminhão e trem) na variável de resposta tempo é atenuada. Tal fato pode ser percebido pela pequena diferença entre os coeficientes angular das retas. Uma vez que a não interação entre fatores é representada pelo paralelismo entre as curvas, a pouca divergência entre estas retas representa consequentemente a pouca interação do referido fator no resultado final do sistema. Assim, foram utilizados dois eixos das ordenadas e desta forma realçar a interação entre os fatores. Com as escalas distintas pôde-se notar a pequena divergência entre as retas, mostrando que há interação entre os fatores do sistema. Vale aqui destacar que no caso de se movimentar maiores quantidades de tijolos o efeito da interação entre os fatores tende a ser ampliado proporcionalmente.

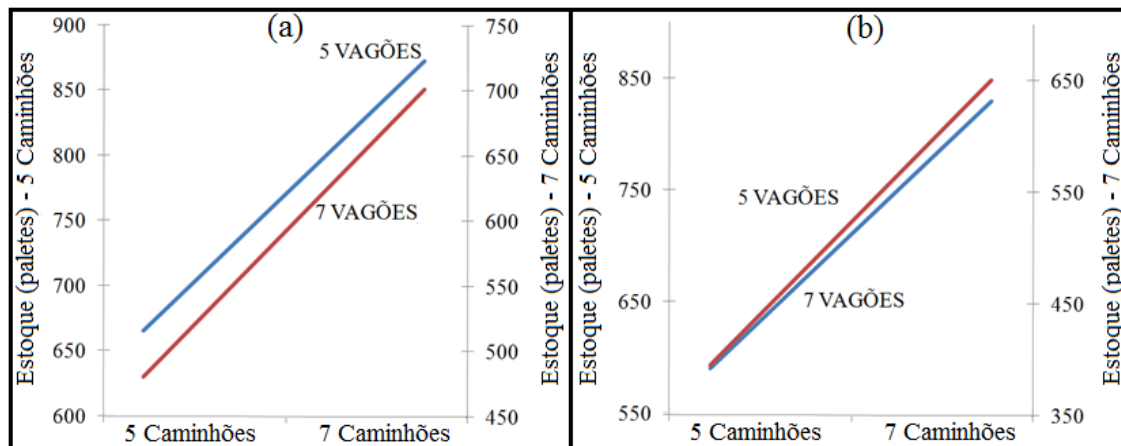


Figura 8: Gráficos interações e fatores, influência dos fatores no estoque com: (a) uma empilhadeira e vagões abertos; e (b) uma empilhadeira e vagões fechados.

A Figura 6(a) mostra a influência das variáveis, frota de caminhão e vagões disponíveis no tempo necessário para o descarregamento de 5 (cinco) trens completos, quando se utiliza apenas uma empilhadeira. Nota-se um acréscimo do tempo à medida que a quantidade de vagões é aumentada de 5 (cinco) para 7 (sete). Nota-se ainda que, devido à interferência do estoque, esta influência é atenuada, como citado anteriormente, sendo visível apenas quando se utiliza eixos com escala distinta.

A Figura 6(b), semelhantemente a Figura 6(a), mostra a influência das variáveis no tempo, mas, utilizando duas empilhadeiras. É notável a redução da variação do tempo quando se utiliza a segunda empilhadeira. Isto se dá pelo fato de que com duas empilhadeiras o aumento da quantidade de caminhões a serem descarregados não impactar no processo de carregamento dos vagões.

Já a Figura 7, apresenta a influência das variáveis caminhão e vagão na variável resposta estoque. É possível notar uma maior inclinação da curva que a representa quando comparada à curva tempo. Isto se deve ao fato desta não ser influenciada por uma variável que atenua seu efeito, como o tempo.

Na Figura 8(a), é apresentada a influência dos fatores caminhão e vagão no comportamento do tempo no sistema, quando se utiliza vagões fechados. Nota-se da mesma forma que no vagão aberto a atenuação gerada pela variável estoque. Já a Figura 8(b) apresenta a influência dos fatores caminhão e vagão no estoque, utilizando vagões fechados.

6. Conclusões

O modelo de simulação apresentado neste trabalho comportou-se de maneira satisfatória, apresentando quantidade de resultados que podem ser suficientes para auxiliar a tomada de decisão dos gestores do Escritório Regional Norte (SEBRAE/RJ) e da Rede Campos Cerâmica (RCC). Espera-se ainda que os referidos resultados possam ser úteis em uma análise econômica do sistema de escoamento de tijolos do Polo Ceramista Fluminense e possibilite assim a utilização da ferrovia existente. De uma forma geral, espera-se que este trabalho seja utilizado como um instrumento para auxiliar a reverter o quadro de inatividade que se encontra a malha ferroviária em questão para o transporte de tijolos. Indo além, espera-se que os resultados apresentados neste artigo sirvam de base e estímulo para outros trabalhos, onde as técnicas de SED e projetos de experimentos possam ser utilizados em outros sistemas de transporte.

A abordagem combinada de um modelo de simulação com projeto de experimentos possibilitou uma análise estatística mais detalhada utilizando um conjunto menor de dados. Dificilmente tal análise poderia ser realizada em uma situação real de operação do sistema ou sem a investigação prolongada de especialistas durante as operações realizadas. Assim, os resultados encontrados corroboram com a relevância científica apontada para as técnicas citadas e empregadas no contexto deste trabalho.

Os resultados obtidos mostraram que a utilização de 2 (duas) empilhadeiras pode ser desnecessária para os parâmetros especificados neste trabalho, pois o equipamento não proporcionou ganho significativo na produtividade do sistema. Sendo assim pode-se considerar que a utilização de uma única empilhadeira seja suficiente em cada estação. Também foi possível notar que a utilização do vagão aberto possibilita uma maior velocidade operacional, além de não necessitar operadores e equipamentos para o posicionamento dos paletes no interior do vagão, quando comparado ao sistema com vagão fechado. Estes resultados mostram que a utilização dos procedimentos operacionais corretos com o sistema logístico pode viabilizar o manuseio das cargas e proporcionar melhores resultados com o sistema de escoamento da produção. Outro ponto considerado foi o dimensionamento do estoque quando considerado a dinâmica do sistema em operação e o número de recursos utilizados. Ficou explicitado através dos resultados apresentados o ponto de melhor ajuste para as operações do sistema que proporcionaram o equilíbrio no nível do estoque para a abordagem em questão.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq e à FAPERJ pelo suporte financeiro para esta pesquisa. A administração local da FCA (Ferrovia Centro Atlântica) em Campos dos Goytacazes (RJ) pelo fornecimento de dados. Aos gestores do APL da Cerâmica Vermelha do Estado do Rio de Janeiro e ao Escritório Regional Norte - SEBRAE/RJ pela proposta e acompanhamento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- BALLOU, R. H. (2006), *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/ Logística Empresarial*, Bookman, Porto Alegre, 5ª Edição.
- BANKS, J.; CARSON, J.S.; NELSON B.L. & NICOL D.M. (2009), *Discrete-event System Simulation*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 5th Edition.
- CAPOZZIELLO L. J. & CAPOZZIELLO D. J. (1981), *Package and Method for Transporting Loose Brick*, U.S. Patent 254867, Mar. 10, 1981.

- CHWIF, L. (2008), Simulação Aplicada à Logística - Fundamentos e aplicações, *Revista Mundo Logística*, v. 6, 64-67.
- COSTA, R. F. S.; MONTEVECHI, J. A. B. & PINHO, A. F. (2010), *Abordagem Sistemática para Avaliação Econômica de Cenários para Modelos de Simulação Discreta em Manufatura*, 42º Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional - XLI - SBPO, Bento Gonçalves - RS, 1-12.
- FREITAS FILHO, P. J. (2008) *Introdução a Modelagem e Simulação de Sistemas*, Editora Visual Books, Florianópolis, 2ª edição.
- KELTON, W. D., SADOWSKI, R. P. & STURROCK, D.T. (2007), *Simulation with Arena*, McGraw- Hill, New York, 4th Edition.
- MONTEVECHI, J. A. B.; LEAL, F.; PINHO, A. F.; COSTA, R. F. DA S.; OLIVEIRA, M. L. M. DE; SILVA, A. L. F. (2010), *Conceptual Modeling in Simulation Projects by Mean Adapted IDEF: An Application in a Brazilian Tech Company*, In Proceedings of the Winter Simulation Conference, Baltimore - Maryland, 1-11.
- MONTGOMERY, D.C. (2009), *Design and Analysis of Experiments*, John Wiley & Sons, Inc., Chichester, 7th Edition.
- RANGEL, J. J. A., CARDOSO, L. D., MESSIAS, P. H., SKURY, A. L. D. & MONTEIRO, S.N. (2009), *Simulação Computacional para Análise do Processo de Paletização de Tijolos - Um estudo de caso*. Congresso da Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração. 64ª ABM, Belo Horizonte - MG, 1-10.
- SALIBY, E. (1999), *Tecnologia de Informação: Uso da Simulação para Obtenção de Melhorias em Operações Logísticas*. In: *Logística empresarial: a perspectiva brasileira* [Editado por FLEURY, P. F.], Editora Atlas, São Paulo.
- SANTOS, C. C. M., LEAL JR, I. C. & FERREIRA FILHO, V. J. M. (2004) *A Utilização da Simulação para Análise e Escolha de Modal de Transporte*. Anais do XI Simpósio de Engenharia de Produção, SIMPEP, Bauru - SP, 1-12.
- SARGENT, R.G. (2010), *Verification and Validation of Simulation Models*, Proceedings of the Winter Simulation Conference, Baltimore - Maryland, 1-18.
- WHITE JUNIOR. K. P. & INGALLS R.G. (2009), *Introduction to Simulation*, Proceedings of the Winter Simulation Conference, Austin - Texas, 1-23.