

Aplicação de técnicas de simulação e de ergonomia ao processo de paletização de caixas de leite UHT: um estudo de caso

Application of simulation and ergonomic techniques to the UHT milk cartons palletization process: a case study

C. C. Vogel; C. A. P. Schmidt; J. A. A. Santos; A. L. Silva

Coordenação de Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 85884-000, Medianeira-PR, Brasil

airton@utfpr.edu.br

(Recebido em 20 de setembro de 2012; aceito em 02 de junho de 2013)

Este trabalho teve como objetivo analisar, através de técnicas de simulação e de ergonomia, a dinâmica operacional de um processo de paletização de caixas de leite UHT. Um modelo do tipo dinâmico, discreto e estocástico foi implementado no software de simulação Arena®. Os resultados de simulação mostraram que o processo está bem planejado, pois não foi possível identificar filas significativas entre as etapas. No entanto, a atividade de paletização apresentou um alto risco ergonômico, com um índice de levantamento das caixas superior ao valor máximo permitido. A solução foi propor melhorias, através da instalação de equipamentos, que auxiliem o trabalho e que sejam economicamente viáveis. Neste caso, acredita-se que a mesa pantográfica seja a melhor opção.

Palavras-chave: Simulação Computacional; Paletização; Arena®; Ergonomia

This work aimed at to analyze operational dynamics of palletization process of UHT milk cartons, through simulation and ergonomics techniques. A model like the dynamic, discrete and stochastic type was implemented in the simulation software Arena®. The simulation results showed that the process is well planned, because it was not possible to identify significant lines among the stages. However, the palletizing activity showed high ergonomic risk, with a survey index of cartons superior to the maximum allowed value. The solution was to propose improvements, through the installation of equipment, that help the work and that are economically viable. In this case, it is believed that the pantograph table is the best option.

Keywords: Computational Simulation; Palletization; Arena®; Ergonomy

1. INTRODUÇÃO

O leite e os seus produtos derivados estão entre os gêneros alimentícios fundamentais na alimentação do homem. É difícil imaginar uma alimentação completa sem o leite e seus derivados, visto que o leite contém uma série de substâncias nutritivas e ativas em uma concentração relativamente alta e em proporções fisiologicamente equilibradas. O leite pode ser ainda submetido ao tratamento UHT (temperatura ultra alta), que é o popularmente chamado leite longa vida. Nesse tratamento o produto é homogeneizado e submetido a uma temperatura de 130 a 150 graus, por cerca de 2 a 4 segundos, em processo térmico de fluxo contínuo. O leite é então rapidamente resfriado, a temperatura inferior a 32 graus e envasado em condições limpas, em embalagens estéreis e hermeticamente fechadas¹⁹.

Os dados do IBGE⁸ – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – demonstram que em 2010 a produção de leite no Brasil foi de 20,9 milhões de toneladas bem distribuída nos 12 meses do ano, apresentando leve oscilação na quantidade produzida devido períodos de safra (período úmido) e entressafra (período seco).

A eficiência de uma indústria, nos dias atuais, é extremamente importante para sua sobrevivência. Assim, é preciso que o processo produtivo seja organizado de modo que as perdas sejam mínimas, tanto de tempo como de produto. Para obter este resultado, diversas técnicas, ferramentas e instrumentos são disponibilizados aos dirigentes desses processos,

muitos deles envolvem a tecnologia de gestão da informação. No entanto, qualquer processo de mudança precisa ser precedido de uma avaliação técnica que avalie as vantagens ou problemas que poderão decorrer. Muitas dessas avaliações são realizadas mediante o uso de softwares de simulação.

Inicialmente, os sistemas de simulação foram desenvolvidos sobre linguagens de programação de propósito geral, tais como: Fortran, Basic, Pascal, etc. Porém, isso exigia um grande esforço para construção de modelos, além de profissionais com conhecimentos profundos de programação de computadores. Diante dessa dificuldade é que começaram a surgir linguagens de programação, dedicadas à simulação, que superassem essa barreira. É o caso, por exemplo, das linguagens Gpss, Siman, Slam, Simscript, etc. Tais linguagens eram, na verdade, bibliotecas formadas por conjuntos de macro comandos das linguagens de propósito gerais. Alguns dos simuladores da geração seguinte foram desenvolvidos sobre a plataforma dessas linguagens. Como exemplo tem-se o software Arena®, implementado na linguagem Siman⁷.

A ergonomia contribui para melhorar a eficiência, a confiabilidade e a qualidade das operações industriais através: do aperfeiçoamento do sistema homem-máquina; da organização do trabalho e da melhoria das condições de trabalho¹³.

Atualmente a ergonomia possui três campos distintos de especialização; ergonomia física, cognitiva e organizacional. A ergonomia física, objeto deste estudo, trata de situações relacionadas com as características da anatomia humana, antropometria, fisiologia e biomecânica incluindo o estudo da postura no trabalho, manuseio de materiais, movimentos repetitivos, distúrbios musculoesqueléticos relacionados ao trabalho, projeto de posto de trabalho, segurança e saúde¹.

Os laticínios, segundo conceitos da área de pesquisa operacional, podem ser visualizados como sistemas em que o conjunto de operações unitárias é realizado segundo uma lógica para obtenção de leite e derivados^{5,6}. Este trabalho teve como objetivo analisar através de técnicas de simulação e de ergonomia a dinâmica operacional de uma dessas operações unitárias, o processo de paletização de leite UHT.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada neste estudo pode ser classificada quanto ao tipo de pesquisa, a população amostra, a coleta e a análise dos dados. Desta forma serão apresentados os passos que foram seguidos para realização do trabalho.

A classificação quanto ao tipo de pesquisa pode ser subdividida de acordo com a natureza sendo esta aplicada, quanto aos objetivos sendo descritiva, quanto à forma de abordar o problema pode ser considerada quantitativa e de acordo com os procedimentos técnicos como um “estudo de caso”.

O presente estudo foi realizado em uma unidade do interior do Paraná de uma empresa do setor lácteo de grande porte e com abrangência nacional. A unidade beneficia diariamente em torno de 450 mil litros de leite UHT. Trabalha, também, com produtos formulados como bebida láctea e creme de leite.

O fluxograma do processo produtivo do leite UHT está sendo ilustrado pela Figura 2.

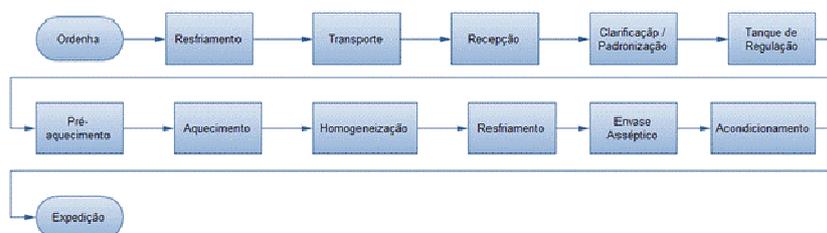


Figura 1: Processo produtivo de leite UHT. Fonte: Adaptado de Révillion²¹.

O processo de beneficiamento do leite, na unidade, pode ser visualizado através do fluxograma do processo na Figura 2.

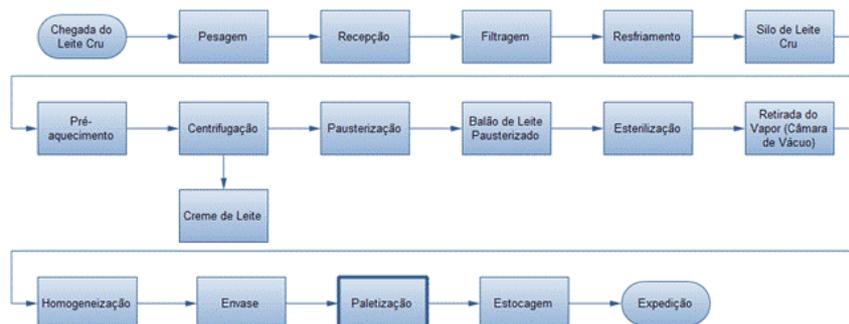


Figura 2: Processo produtivo leite UHT – Unidade.

A etapa de paletização foi o segmento estudado detalhadamente neste trabalho. Observou-se, no processo produtivo anterior ao processo de paletização, que o leite UHT era envasado em caixas cartonadas da Tetra Pak® de um litro e acondicionadas, posteriormente, em embalagens para 12 unidades. Em seguida, para garantir a integridade do produto, estas caixas passavam por um processo de revestimento com um filme plástico termo encolhível.

O processo de paletização inicia-se no momento que estas caixas chegam as esteiras transportadoras (Figura 3). Os auxiliares da empacotadeira recolhem as caixas de leite das esteiras e as empilham encima de um estrado de madeira (paleta padrão PBR), formando paletes com 90 caixas cada. Observa-se que os trabalhadores precisam seguir um desenho pré-definido por padrão operacional da empresa.

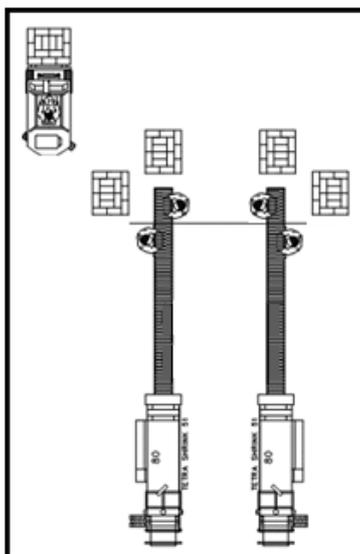


Figura 3: Layout do processo de paletização. Fonte: Adaptação da planta industrial da empresa.

Assim que o palete é terminado, ele é retirado com uma empilhadeira (Toyota – SAS 25), liberando o local para reiniciar a atividade. A empilhadeira coloca o palete pronto sob um equipamento chamado de paletizadora (Gimak – GK 2100). Este tem a função de envolver o palete com um filme plástico Stretch para deixá-lo mais firme. A utilização de cantoneiras não é obrigatória, porém auxilia no melhor acondicionamento das embalagens, causando menor perda por devoluções de produtos amassados. Após paletizado, o produto está pronto para ser levado para o estoque. A Figura 4 apresenta o fluxograma do processo de paletização.

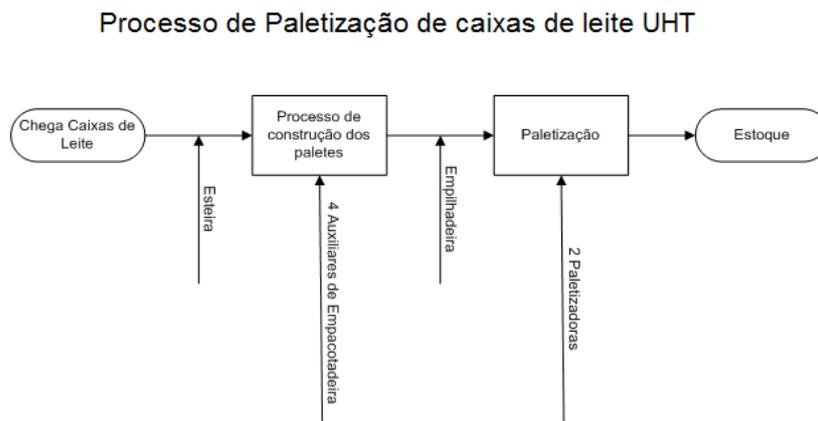


Figura 4: Fluxograma do processo de paletização.

O Arena® é um ambiente gráfico integrado de simulação, que contém inúmeros recursos para modelagem, animação, análise estatística e análise de resultados. A plataforma de simulação Arena® possui as seguintes ferramentas^{3,6}:

- i. Analisador de dados de entrada (*Input Analyzer*);
- ii. Analisador de resultados (*Output Analyzer*);
- iii. Analisador de processos (*Process Analyzer*).

Este software é composto por um conjunto de blocos (ou módulos) utilizados para se descrever uma aplicação real e que funcionam como comandos de uma linguagem de programação. Os elementos básicos da modelagem em Arena® são as entidades que representam as pessoas, objetos, transações, etc, que se movem ao longo do sistema; as estações de trabalho que demonstram onde será realizado algum serviço ou transformação, e por fim, o fluxo que representa os caminhos que a entidade irá percorrer ao longo de estações^{8,10,11}.

No planejamento, da coleta de dados, concluiu-se que seria necessário determinar as seguintes variáveis: Tempos Entre Chegadas das Caixas (TEC); Tempos de Construção dos Paletes (TCP); Tempos de Troca dos Paletes (TTP); Tempos de Platisficação dos Paletes (TPPir); velocidade das esteiras; comprimento das esteiras; velocidade da empilhadeira e distância percorrida pela empilhadeira.

Estes dados foram analisados com a ferramenta *Input analyzer* (analisador de dados de entrada) do software Arena®. Segundo Prado¹⁸ esta ferramenta permite analisar dados reais do funcionamento do processo e escolher a melhor distribuição estatística que se aplica a eles. A simulação da dinâmica operacional do processo de paletização foi realizada com o software Arena®, e os resultados analisados nas ferramentas *Output Analyzer* e *Process Analyzer*.

2.1 Número de replicações

Segundo FREITAS FILHO⁷, de uma maneira geral, a coleta de dados para a composição de uma amostra a partir da simulação de um modelo pode ser realizada de duas formas:

1. Fazer uso das observações individuais dentro de cada replicação. Por exemplo, pode-se simular o processo e utilizar o tempo que cada paleta esperou na fila da paletizadora para realizar uma estimativa do tempo médio de espera na fila. Neste caso, o tamanho da amostra será igual à quantidade de paletes que passaram pela fila ao longo do período simulado.

2. A segunda maneira de gerar a amostra é realizar n simulações (replicações). Assim, cada replicação gera um elemento para a amostra. Uma vez que estamos lidando com um sistema terminal no qual as condições iniciais e o período de simulação são fixos, a melhor maneira de garantir que os valores da amostra sejam estatisticamente independentes é obtê-los a partir de replicações independentes.

Neste trabalho, o número de replicações (n^*) foi obtido através da seguinte expressão:

$$n^* = n \times \left(\frac{h}{h^*}\right)^2 \quad (1)$$

onde:

n - número de replicações já realizadas;
 h - semi-intervalo de confiança já obtido; e
 h^* - semi-intervalo de confiança desejado.

2.2 Erro Médio Estimado

Na execução do procedimento de validação, para o sistema em estudo, utilizou-se o erro médio estimado^{14,15}:

$$SE = \sqrt{\frac{(SR-MD)^2}{GLR}} \quad (2)$$

onde:

SE - erro médio estimado;
 SR - valor obtido a partir do sistema real;
 MD - média dos valores gerados pelo modelo; e
 GLR - grau de liberdade considerando o número de replicações do modelo.

2.3 Tamanho da amostra

O tamanho de cada uma das quatro amostras, cronometradas neste trabalho, foi obtida, para um nível de confiança de 95%, através da seguinte expressão:

$$n_A = \left(\frac{Z_{\alpha/2} \times S}{E}\right)^2 \quad (3)$$

onde:

n_A - número de indivíduos da amostra;
 $Z_{\alpha/2}$ - valor crítico que corresponde ao grau de confiança desejado;
 S - desvio padrão;
 E - erro máximo estimado.

2.4 A Equação de NIOSH

A equação de NIOSH (Equação 4) permite avaliar tarefas de levantamento assimétrico, objetos com qualidade de pega inferior ao ótimo, e oferece procedimentos para avaliar uma faixa extensa de duração do trabalho e frequências de levantamento²².

A equação e a metodologia de cálculo podem ser encontradas no manual de Waters; Putz-Anderson e Garg²³, onde as variáveis da equação podem ser obtidas através da observação do posto de trabalho avaliado (Figura 5). Assim, o LPR (Limite de Peso Recomendado) pode ser obtido através das Equação 4.

$$LPR = 23 \times \left(\frac{25}{H}\right) \times [1 - (0,003 \times |V - 75|)] \times \left[0,82 + \left(\frac{4,5}{D}\right)\right] \times [1 - (0,0032 \times A)] \times FF \times FP \quad (4)$$

onde:

LPR - Limite de Peso Recomendado;
Cc - Constante de carga = 23 kg;
H - Distância horizontal entre o indivíduo e a carga em cm;
V - Distância vertical na origem da carga em cm;

D – Deslocamento vertical, entre a origem e o destino, em cm;
 A – Ângulo de assimetria, em graus;
 F – Frequência média de levantamentos em levantamentos/min (Tabela 1);
 P – Qualidade da pega (Tabela 2).

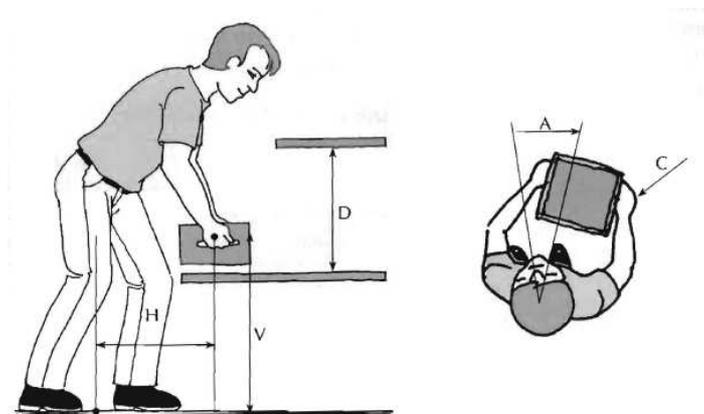


Figura 5: Ilustração esquemática dos fatores de carga considerados na equação de NIOSH- Fonte: IIDA⁹.

Tabela 1: Frequência média de levantamentos em levantamentos/min.

FATOR FREQUENCIA						
LEVS/MIN (F)	Duração do trabalho					
	< 1 Hora		>1 Hr e<2Hr		>2 Hr mas< 8 Horas	
	V < 30	V > 30	V<30	V>30	V<30	V>30
<0.2	1	1	0,95	0,95	0,85	0,85
0,5	0,97	0,97	0,92	0,92	0,81	0,81
1	0,94	0,94	0,88	0,88	0,75	0,75
2	0,91	0,91	0,84	0,84	0,65	0,65
3	0,88	0,88	0,79	0,79	0,55	0,55
4	0,84	0,84	0,72	0,6	0,45	0,45
5	0,8	0,8	0,6	0,5	0,35	0,35
6	0,75	0,75	0,5	0,42	0,27	0,27
7	0,7	0,7	0,42	0,35	0,22	0,22
8	0,6	0,6	0,35	0,3	0,18	0,18
9	0,52	0,52	0,26	0,26	0	0,15
10	0,45	0,45	0	0,23	0	0,13
11	0,41	0,41	0	0,21	0	0
12	0,37	0,37	0	0	0	0
13	0	0,34	0	0	0	0
14	0	0,31	0	0	0	0
15	0	0,28	0	0	0	0
>15	0	0	0	0	0	0

Fonte: NIOSH¹⁷.

Tabela 2: Tabela representativa dos valores referentes à qualidade da pega.

FATOR PEGA		
Tipo de Pega	<30	>30
Boa	1	1
Razoável	0,95	1
Ruim	0,9	0,9

Fonte: NIOSH¹⁷.

Com o LPR definido, calcula-se o IL (Índice de Levantamento) que apresenta uma estimativa do estresse físico da tarefa avaliada (Equação 5).

$$IL = \frac{PC}{LPR} \quad (5)$$

onde:

IL – Índice de Levantamento;

PC – Peso real da Carga levantada em kg;

LPR – Limite de Peso Recomendado em kg.

No cálculo do Índice de Levantamento (IL) se o resultado for menor que 1, a atividade apresenta baixo risco de causar lombalgia, já se o IL for superior a 3 a atividade apresenta alto risco de causar problemas lombares nos trabalhadores expostos. A mesma regra vale para o ILC (Índice de Levantamento Composto), utilizado para tarefas complexas¹⁷.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A coleta de dados é uma parte fundamental do processo de simulação, pois o insucesso nesta etapa compromete todo o trabalho. A coleta foi realizada de forma direta por observação e medição dos tempos das atividades que compõem o processo de paletização e por acesso a dados históricos do sistema de gestão do laticínio.

Depois da cronometragem e tratamento dos dados¹⁶, o passo seguinte foi determinar as curvas de distribuição teórica de probabilidades que melhor representem o comportamento estocástico do sistema em estudo, através da ferramenta Input Analyzer do Arena®. Como os *p-values* dos testes de aderência: teste Chi Square e do teste Kolmogorov-Smirnof, foram maiores, em todos os casos analisados, que o nível de significância adotado (0,1)⁴, concluiu-se que as distribuições, apresentadas na Tabela 3, são as expressões que melhor se adaptaram aos dados coletados no sistema.

Tabela 3: Distribuições de probabilidade.

Itens	Distribuição
TEC	UNIF (2, 4.7) (seg)
TCP	2.5 + WEIB (3.86, 2.31) (seg)
TTP	8 + 16 * BETA (1.07, 1.31) (seg)
TPP	1.4 + 0.51 * BETA (0.571, 0.617) (min)

A validação, do modelo computacional, tem por objetivo proceder à comparação de valores de variáveis geradas pelo modelo com os obtidos do sistema real^{12,20}. As médias obtidas do sistema real e gerada pelo modelo, para a variável NP (Número de Paletes), são apresentadas na Tabela 4. Nesta tabela apresenta-se, também, o erro médio estimado.

Tabela 4: Dados do sistema real e do modelo.

Número de Paletes - NP		
Sistema Real	Modelo Computacional	Erro Médio Estimado
192	187 ± 1	1,3%

Através da análise dos resultados da Tabela 4 pode-se concluir que, em relação ao número de paletes produzidos em um turno (8 horas), que o modelo demonstrou ser aplicável, uma vez que o erro médio percentual foi de apenas 1,3%.

Segundo Prado¹⁸, na simulação de sistemas discretos, atenção especial deve ser dada aos pontos onde ocorrem filas. No entanto, através das simulações realizadas neste trabalho, observou-se que o processo de paletização, da forma como é realizado atualmente, é muito eficiente e produtivo, porque praticamente não existe formação de filas na chegada das caixas para montagem dos paletes e no processo de emplastificação.

Porém, visualizando a atividade com um foco de Saúde e Segurança do Trabalho, ela passa a ser classificada como prejudicial, devido aos riscos ergonômicos relacionados com o levantamento das caixas de leite (12,2 kg) nas esteiras.

A coleta de dados, para análise ergonômica foi realizada de forma direta, por observação e medição das distâncias das atividades que compõem o processo de paletização. Como esta atividade possui distâncias diferentes entre os lastros (fileiras empilhadas), a tarefa foi classificada como complexa. Os dados coletados estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Dados coletados através de medições e observações no posto de trabalho.

Níveis	Peso (kg)	H _O (cm)	H _D (cm)	V _O (cm)	V _D (cm)	D (cm)	A (graus)	F (levs/min)	P
1	12,2	35	35	76	14	62	0	1,5	Ruim
2	12,2	30	30	76	31	45	0	1,5	Ruim
3	12,2	30	30	76	48	28	0	1,5	Ruim
4	12,2	30	30	76	65	11	0	1,5	Ruim
5	12,2	30	30	76	82	6	0	1,5	Ruim
6	12,2	30	30	76	99	23	0	1,5	Ruim

Em seguida, todos estes dados foram utilizados para calcular o LPR (Limite de Peso Recomendado) e o IL (Índice de Levantamento) da atividade realizada pelos auxiliares de empacotadeira. Posteriormente, também, foi calculado o ILC (Índice de Levantamento Composto) juntando os esforços realizados em todos os níveis avaliados. Para a tarefa de montagem de paletes, realizada atualmente, foi encontrado um ILC igual a 4,89 (Anexo 1). Portanto, tem-se uma tarefa que apresenta alto risco aos funcionários.

Para minimizar os efeitos maléficos sobre os trabalhadores, projetou-se um cenário alternativo. Isto é, aumentou-se o intervalo entre chegadas das caixas (cenário 2), com o objetivo de diminuir a frequência de levantamentos de 9 para 6 caixas por minuto.

- Cenário 1: Tempo entre Chegadas – UNIF(2,4.7) seg. – (Cenário atual);

- Cenário 2: Tempo entre Chegadas – UNIF(3.5,6.5) seg.

Simulou-se 15 replicações durante um período de 8 horas. Na Tabela 6 apresentam-se as porcentagens de utilização dos quatro auxiliares da empacotadeira e o número de paletes produzidos por cenário.

Tabela 6: Porcentagem de utilização dos auxiliares nos dois cenários simulados.

Velocidade (s)	Auxiliar 1	Auxiliar 2	Auxiliar 3	Auxiliar 4	Número de Paletes
Cenário 1	88,4%	88,5%	88,3%	88,3%	187 ± 1
Cenário 2	59,1%	59%	59,2%	59,2%	124 ± 1

Observa-se, através dos dados obtidos da Tabela 6, que com o aumento dos tempos entre chegadas das caixas obteve-se uma queda de aproximadamente 29% na porcentagem de utilização dos auxiliares, embora com uma perda aproximada de 63 paletes por turno de 8 horas.

Na Tabela 7 apresentam-se os índices LPR e ILC para os cenários estudados.

Tabela 7: Resultados da aplicação da equação de NIOSH.

Cenário	LPR (Limite de peso recomendado - kg)	ILC (Índice de levant.composto)
Cenário 1	7,00	4,89
Cenário 2	8,09	2,98 (Anexo 2)

Com a modificação proposta obteve-se uma redução do ILC, porém ainda não se chegou ao índice ideal, o qual deixaria os trabalhadores fora de perigo. Observa-se, também, que a perda de 63 paletes, por turno, foi considerada muito alta pela gerencia do laticínio.

A melhor opção, do ponto de vista gerencial, produtivo e de preservação da saúde e segurança dos trabalhadores seria a utilização de robôs paletizadores. Para a linha estudada, apenas um robô substituiria os 12 auxiliares de empacotadeira da empresa (quatro auxiliares por turno), sendo que a empresa deixaria de ter problemas relacionados a encargos trabalhistas.

Uma alternativa mais barata que os robôs e que não dispensaria os trabalhadores, seria a implantação de mesas pantográficas, tendo como função auxiliar o trabalhador, erguendo e abaixando o palete, para que não seja necessário grandes deslocamentos verticais dos trabalhadores segurando a carga.

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho implementou-se um modelo computacional do processo industrial de paletização de caixas de leite UHT de uma empresa do ramo lácteo. Observou-se, que o gargalo do sistema está nos riscos ergonômicos relacionados ao levantamento das caixas de leite.

Concluiu-se que a opção do aumento do tempo entre chegadas das caixas (redução na frequência dos levantamentos), é inviável devido: a uma grande perda de produção e aos riscos ergonômicos encontrados através da metodologia NIOSH. Um revezamento na função também foi avaliado, porém os trabalhadores não poderiam ficar por mais de 2 horas diárias nessa função.

Desta forma, acredita-se que a maneira mais cabível para reduzir ou até eliminar os riscos ergonômicos seria a instalação de robôs paletizadores, assim os operadores não precisariam realizar movimentos repetitivos e com cargas pesadas, como atualmente acontece, mas isso apresentaria um preço bastante elevado, sendo que a implantação de mesas pantográficas poderia ser uma opção mais barata, manteriam os funcionários na atividade e também os colocariam fora dos riscos ergonômicos aos quais hoje se encontram submetidos.

-
1. Associação Brasileira de Ergonomia. O que é Ergonomia. Disponível em: http://www.abergo.org.br/internas.php?pg=o_que_e_ergonomia. Acesso em: 15 nov. 2011.
 2. Banks, J. *Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and Practice*. New York: John Wiley & Sons, 1998.
 3. Barbosa, R. A. A Modelagem e Análise do Sistema de Filas de Caixas de Pagamento em uma Drograria: Uma Aplicação da Teoria das Filas In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2009, Salvador. *Anais...* Salvador: ENEGEP, 2009.
 4. Chwif, L.; Medina, A. C. *Modelagem e simulação de eventos discretos, teoria & aplicações*. São Paulo: Brazilian Books, 2007.
 5. Ebert, D. C.; Silva, C. S.; Vilas Boas, M. A. Simulação da Dinâmica Operacional de um processo industrial de abate de aves. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 26, 305-309, 2009.
 6. Fernandes, C. A.; Silva, C. S.; Pereira, J. O. Yamaguchi, M. M. Simulação da Dinâmica Operacional de uma Linha Industrial de Abate de Suínos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.26, 166-170, 2006.
 7. Freitas Filho, P. J. *Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena*. Florianópolis: Visual Books, 2008. 305 p.
 8. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção de Leite no Brasil em 2010. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pecua/default.asp?t=3&z=t&o=24&u1=1&u2=1&u3=1&u4=1&u5=1&u6=1&u7=1>. Acesso em: 28 mai 2011.
 9. IIDA, I. *Ergonomia: projeto e produção*. 2. ed. São Paulo: E. Blücher, 2005.
 10. Law, A. M.; Kelton, W. D. *Simulation modeling and analysis*. New York: McGraw- Hill, 2000.
 11. Kelton, W. D.; Sadowski, R. P; Sadowski, D. A. *Simulation with arena*. New York: McGraw-Hill, 1998.
 12. Marin, T.; Tomi, G. F. C. Modelagem de dados de entrada para simulação estocástica del lavra. *Revista Escola de Minas*, v.60, 559-562, 2010.

13. Mateus Junior, J. R. *Estudo das ferramentas de avaliação física em ergonomia, Equação NIOSH e RULA*. 2009. 151 f. Dissertação. Mestrado em Engenharia de Produção – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis. 2009.
14. Menner, W. A. *Introduction to modeling and simulation*. New York: JohnsHopkins APL Technical Digest, 1995.
15. Momtgomery, D. C. *Design and Analysis of Experiments*. New York: Wiley, 2005.
16. Morroco, J. *Análise estatística de dados – com utilização do SPSS*. Lisboa: Sílabo, 2003.
17. National Institute for Occupational Safety and Health. *Applications manual for the revised NIOSH lifting equation*. U.S. Dept. of Health and Human Services (NIOSH), Public health Service. Cincinnati: OH, 1994.
18. Prado, D. *Usando o ARENA em simulação*. v.3, 4ed. Nova Lima: INDG - Tecnologia e Serviços LTDA, 2010. 307 p.
19. SILVA, P. H. F. *Físico-química do leite e derivados: métodos analíticos*. Juiz de Fora: EPAMIG 1997.
20. Sargent, R. G. Verification and validation of simulation models. In: WINTER THE SIMULATION CONFERENCE, 1998, Washington. *Proceedings...* Washington: WSC, 1998.
21. Révillion, Jean Philippe. Laticínios: Processamento do Leite UHT – Sistema Direto. UFRGS. Disponível em: http://www.ufrgs.br/alimentus/laticinios/leite_uht/uht_sistema_direto.htm>. Acesso em: 12 nov 2011.
22. Teixeira, E. R. *Sistematização de procedimentos necessários à aplicação da ELN: Estudo descritivo da relação entre o IL da equação revisada do NIOSH e a incidência de lombalgia numa amostra de trabalhadores*. 2004. 239 f. Dissertação. Mestrado em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica, Setor Tecnológico, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
23. WATERS, T. R.; PUTZ-ANDERSON, V.; GARG, A. *Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation*. DHHS (NIOSH) Publication. No. 94-110. 1994.

Anexo 1: Formulário para Análise da Tarefa de Levantamento – Cenário 1.

FORMULÁRIO PARA ANÁLISE DA TAREFA DE LEVANTAMENTO - TAREFA COMPLEXA												
EMPRESA	Alimentícia		DESCRIÇÃO DA TAREFA									
SETOR	Embalagem		O trabalhador pega, com as duas mãos, caixas contendo 12 litros de leite UHT, no final de uma linha de produção e as coloca em paletes. Cada unidade pesa 12,2 kg. A paletização é realizada com 6 fileiras (níveis de altura) contendo 15 caixas cada.									
TAREFA	Paletização											
ANALISTA	Camila											
DATA	01/08/2011											
ETAPA 1 - Medidas e registros das variáveis da tarefa												
Tarefa nº	Peso da carga (PC) – kg		Localização das mãos (cm)				Distância vertical (cm) V _D -V _O	Ângulo de assimetria (graus)		Frequência de levantamentos Levs/min	Duração Horas	Qualidade da pega P
	Peso médio (kg)	Peso máx (kg)	Origem		Destino			Origem	Destino			
			H	V	H	V	D			A	A	F
1	12,2	12,2	35	76	35	14	62	0	0	1,5	8	Ruim
2	12,2	12,2	30	76	30	31	45	0	0	1,5	8	Ruim
3	12,2	12,2	30	76	30	48	28	0	0	1,5	8	Ruim
4	12,2	12,2	30	76	30	65	11	0	0	1,5	8	Ruim
5	12,2	12,2	30	76	30	82	6	0	0	1,5	8	Ruim
6	12,2	12,2	30	76	30	99	23	0	0	1,5	8	Ruim
ETAPA 2 - Calcular os fatores e LPRIF, LPRTS, ILIF, ILTS para cada Tarefa												
Tarefa nº	Cc x FH x FV x FD x FA x FP						LPRIF x FF		LPRTS	ILIF = PC/LPRIF	ILTS = PC/LPRTS	Classificação tarefas nº
1	23	0,71	0,8	0,89	1	0,9	10,78	0,65	7,00	1,13	1,74	1
2	23	0,83	0,9	0,92	1	0,9	13,77	0,65	8,95	0,89	1,36	2
3	23	0,83	0,9	0,9	1	0,9	15,54	0,65	10,1	0,79	1,21	3
4	23	0,83	0,9	1,2	1	0,9	20,56	0,65	13,36	0,59	0,91	5
5	23	0,83	0,9	1,57	1	0,9	26,51	0,65	17,23	0,46	0,71	6
6	23	0,83	0,9	1	1	0,9	16,25	0,65	10,56	0,75	1,16	4
ETAPA 3 - Calcular o Índice de Levantamento Composto para o trabalho												
ILC =	$ILTS_1 + \Delta ILIF_2 + \Delta ILIF_3 + \Delta ILIF_4 + \Delta ILIF_5 + \Delta ILIF_6$											
ILC =	ILTS ₁	ILIF ₂ x(1/FF _{1,2} -1/FF ₁)		ILIF ₃ x(1/FF _{1,2,3} -1/FF _{1,2})		ILIF ₄ x(1/FF _{1,2,3,4} -1/FF _{1,2,3})		ILIF ₅ x(1/FF _{1,2,3,4,5} -1/FF _{1,2,3,4})		ILIF ₆ x(1/FF _{1,2,3,4,5,6} -1/FF _{1,2,3,4,5})		
		0,89(1/0,55-1/0,65)		0,79(1/0,45-1/0,55)		0,75(1/0,27-1/0,45)		0,59(1/0,22-1/0,27)		0,46(1/0,15-1/0,22)		
ILC =	1,74	0,25		0,32		1,11		0,50		0,98		
ILC =	4,89											

Anexo 2: Formulário para Análise da Tarefa de Levantamento – Cenário 2.

FORMULÁRIO PARA ANÁLISE DA TAREFA DE LEVANTAMENTO - TAREFA COMPLEXA												
EMPRESA	Alimentícia		DESCRIÇÃO DA TAREFA									
SETOR	Embalagem		O trabalhador pega, com as duas mãos, caixas contendo 12 litros de leite UHT, no final de uma linha de produção e as coloca em paletes. Cada unidade pesa 12,2 kg. A paletização é realizada com 6 fileiras (níveis de altura) contendo 15 caixas cada.									
TAREFA	Paletização											
ANALISTA	Camila											
DATA	01/08/2011											
ETAPA 1 - Medidas e registros das variáveis da tarefa												
Tarefa nº	Peso da carga (PC) – kg		Localização das mãos (cm)				Distância vertical (cm) V _D -V _O	Ângulo de assimetria (graus)		Frequência de levantamentos	Duração	Qualidade da pega
			Origem		Destino			Origem	Destino			
	Peso médio (kg)	Peso máx (kg)	H	V	H	V	D	A	A	F	Horas	P
1	12,2	12,2	35	76	35	14	62	0	0	1,0	8	Ruim
2	12,2	12,2	30	76	30	31	45	0	0	1,0	8	Ruim
3	12,2	12,2	30	76	30	48	28	0	0	1,0	8	Ruim
4	12,2	12,2	30	76	30	65	11	0	0	1,0	8	Ruim
5	12,2	12,2	30	76	30	82	6	0	0	1,0	8	Ruim
6	12,2	12,2	30	76	30	99	23	0	0	1,0	8	Ruim
ETAPA 2 - Calcular os fatores e LPRIF, LPRTS, ILIF, ILTS para cada Tarefa												
Tarefa nº	Cc x FH x FV x FD x FA x FP						LPRIF x FF		LPRTS	ILIF = PC/LPRIF	ILTS = PC/LPRTS	Classificação tarefas nº
1	23	0,71	0,8	0,89	1	0,9	10,78	0,75	8,09	1,13	1,51	1
2	23	0,83	0,9	0,92	1	0,9	13,77	0,75	10,33	0,89	1,18	2
3	23	0,83	0,9	0,9	1	0,9	15,54	0,75	11,66	0,79	1,05	3
4	23	0,83	0,9	1,2	1	0,9	20,56	0,75	15,42	0,59	0,79	5
5	23	0,83	0,9	1,57	1	0,9	26,51	0,75	19,88	0,46	0,61	6
6	23	0,83	0,9	1	1	0,9	16,25	0,75	12,19	0,75	1,00	4
ETAPA 3 - Calcular o Índice de Levantamento Composto para o trabalho												
ILC =	$ILTS_1 + \Delta ILIF_2 + \Delta ILIF_3 + \Delta ILIF_4 + \Delta ILIF_5 + \Delta ILIF_6$											
ILC =	ILTS ₁	ILIF ₂ x(1/FF _{1,2} -1/FF ₁)			ILIF ₃ x(1/FF _{1,2,3} -1/FF _{1,2})			ILIF ₄ x(1/FF _{1,2,3,4} -1/FF _{1,2,3})		ILIF ₅ x(1/FF _{1,2,3,4,5} -1/FF _{1,2,3,4})		ILIF ₆ x(1/FF _{1,2,3,4,5,6} -1/FF _{1,2,3,4,5})
		0,89(1/0,65-1/0,75)			0,79(1/0,55-1/0,65)			0,75(1/0,45-1/0,55)		0,59(1/0,35-1/0,45)		0,46(1/0,27-1/0,35)
ILC =	1,51	0,18			0,22			0,30		0,37		0,39
ILC =	2,98											