

Entropia em Postos de Trabalho: uma proposta de métrica para avaliação ergonômica

Rodrigo Franco Gonçalves (EPUSP) rofranco@osite.com.br
Marcelo Schneck de Paula Pessoa (EPUSP) mpessoa@terra.com.br

Resumo

Neste artigo é proposto o conceito de entropia associada a postos de trabalho como uma métrica para avaliação quantitativa e qualitativa do estado de desordem associado ao posto de trabalho. São identificados fatores para os quais é favorável o aumento e outros para os quais é favorável a redução da entropia, para a melhoria da condição de trabalho, considerando os aspectos de aprendizagem de tarefas, monotonia, conforto, variabilidade e propensão à problemas músculo-esqueléticos.

Palavras-chave: Ergonomia, Entropia, Posto de trabalho, Biomecânica.

1. Introdução

As métricas são uma necessidade quando se busca uma avaliação quantitativa, além de qualitativa, de fenômenos observáveis. Em ergonomia, a utilização de métricas fica muitas vezes restrita a fenômenos ou efeitos bastante específicos da condição de trabalho, o que leva a obtenção de um conjunto limitado de variáveis observáveis, como deslocamentos do trabalhador, direção do olhar, comunicação e postura (GUÉRIN *et al.* 2001), que, entretanto, não refletem a totalidade e complexidade da condição do trabalho.

A avaliação de ordem biomecânica emprega técnicas como eletromiografia, medida de carga e angulação articular, entre outras técnicas de avaliação quantitativa. Entretanto, os aspectos subjetivos do trabalho e a dimensão psicossocial não são considerados (COUTAREL *et al.*, 2005). Para estes autores, o corpo humano é indissociavelmente um organismo biológico e subjetivo.

Um problema aparece quando se pretende obter uma avaliação quantitativa a respeito de aspectos gerais da condição de trabalho: neste contexto as técnicas de quantificação usualmente empregadas, que focam variáveis específicas, não podem ajudar: surge a necessidade de uma variável de estado global do posto de trabalho.

Uma proposta deste tipo é apresentada por Wallace *et al.* (2003), que propõem a utilização do conceito de energia como uma forma de avaliar o quanto um ambiente de trabalho é adequado para otimizar o trabalho humano (Fator de Compatibilidade do Trabalho - *Work Factor Compatibility* - WFC). Estes autores calculam o WFC como uma função da energia despendida para a realização do trabalho e da energia reposta, tanto no aspecto físico como mental.

Neste sentido, o presente artigo pretende contribuir com uma proposta objetiva de métrica para avaliação de postos de trabalho, tendo como base uma medida do nível de desordem associado. Para isto usa-se o conceito de entropia. É feita uma discussão teórica relacionada ao nível desejável de desordem, considerando que o aumento do índice entrópico pode ser favorável sob alguns aspectos e desfavorável sobre outros aspectos.

Primeiramente é feita uma revisão do conceito de entropia e definida a forma de utilização deste conceito no âmbito deste trabalho. São também discutidos os conceitos ergonômicos nos quais este trabalho se apóia. Faz-se, então, uma modelagem sistêmica de um posto de

trabalho e avalia-se a partir dos fundamentos teóricos a condição desejável do índice entrópico associado a este posto de trabalho.

2. Entropia

Em termodinâmica, o conceito de entropia é relacionado ao grau de desordem de um sistema e definido a partir do número de configurações possíveis deste sistema (CALLEN, 1985). Para um sistema isolado onde o número de estados possíveis é dado por Ω , a entropia S para este sistema é dada por

$$S = k_B \ln \Omega \quad (1),$$

onde k_B representa a constante de Boltzman, que introduz uma unidade (energia/temperatura) à medida da entropia. Neste estudo adota-se uma representação adimensional de entropia, para a qual dá-se o nome de *Índice Entrópico* (H), definido por

$$H = \ln \Omega \quad (2),$$

que relaciona H a uma medida da entropia em um posto de trabalho, dada a partir do número de configurações possíveis Ω associado a este posto.

O número de configurações de um sistema pode ser encontrado por contagem direta, obtida por observação ou modelagem, ou utilizando técnicas de análise combinatória. Para grandes números e sistemas complexos, deve-se adotar uma abordagem estatística, adotando-se a probabilidade f_j para cada estado j equiprovável, dada por

$$f_j = 1/\Omega \quad (3).$$

3. Avaliação Ergonômica de Postos de Trabalho

Considera-se aqui que a ação ergonômica dá-se nas diferentes dimensões do ser humano: biológica, cognitiva, psíquica e social (DANIELLOU, 2004). Este trabalho enfoca a princípio somente a abordagem ergonômica sobre a dimensão biológica do ser humano no posto de trabalho. Entretanto, estas dimensões são indissociáveis, e alguns aspectos nas outras dimensões são também mencionados, mas não de forma aprofundada.

Um conceito importante no contexto deste trabalho é a distinção entre tarefa e atividade. A tarefa é a função do trabalho prescrita e a atividade é a adaptação às condições práticas desta, feita pelo trabalhador (GUÉRIN *et al.* 2001).

Os seguintes aspectos ergonômicos do trabalho são avaliados a partir do conceito de entropia: aprendizagem da execução de tarefas, conforto, monotonia, variabilidade e problemas músculo-esqueléticos. Para cada fator é analisado se o aumento ou diminuição do índice entrópico do posto de trabalho é favorável para a melhoria das condições de trabalho.

3.1. Aprendizagem da execução de tarefas

A facilidade de aprendizagem de uma tarefa por parte de um trabalhador está diretamente ligada à dimensão cognitiva deste e relaciona-se a um esforço de memória diretamente proporcional à quantidade de informação arbitrária presente no processo de trabalho (BOUYER e SZNELWAR, 2005). Para estes autores, “Reduzir a quantidade de informação arbitrária no processo de trabalho torna mais eficaz o próprio fluxo informacional e reduz as interdições baseadas na sobrecarga cognitiva sobre os operadores (...). A redução dos elementos arbitrários facilita a ‘regulação’ cognitiva das tarefas”.

Associando diretamente a quantidade de informação arbitrária ao número de configurações do processo de trabalho, verifica-se que a redução do índice entrópico é favorável à melhoria da

condição de trabalho no aspecto de aprendizagem da execução de tarefas.

3.2. Monotonia

Da própria definição da palavra monotonia, referente à uniformidade e à falta de variedade – que se relaciona a poucas ou a uma única configuração – e leva um ato a torna-se enfadonho, depreende-se que o aumento do índice entrópico associado a um posto de trabalho é, neste aspecto, favorável para melhorar a qualidade da atividade de trabalho, tornando-a menos monótona.

3.3. Variabilidade

A noção de variabilidade em ergonomia está relacionada à diferença entre a prescrição e a realidade da atividade de trabalho. A variabilidade no trabalho é, no contexto da ergonomia, um elemento de melhoria na condição do trabalho (ABRAHÃO, 2000). A contribuição da variabilidade na melhoria da condição de trabalho vai no sentido contrário ao da concepção “Taylorista”, que visa um trabalhador médio, adaptado a uma tarefa de trabalho, bem prescrita e restritiva. Quando se integram as noções de variabilidade, a distância entre o previsto e o realizado torna-se um fator positivo para a produtividade e incorpora as competências do trabalhador (Abrahão, 2000).

Considerando que a variabilidade implica em um maior número de formas de realização da tarefa prescrita – ou seja, maior número de configurações possíveis – para a consecução da atividade de trabalho, verifica-se que o ganho em variabilidade está diretamente relacionado a um aumento do índice entrópico associado ao posto de trabalho.

3.4. Esforço repetitivo e problemas músculo-esqueléticos

A realização de esforços constantes e repetitivos de um mesmo grupo músculo-esquelético pode ocasionar desconforto, problemas (PME) ou mesmo lesões neste grupo (ANDERSON e SHOLES, 1994).

Um posto de trabalho muito restritivo – com poucas configurações possíveis para a ação do trabalhador – pode propiciar a ocorrência de PME além de uma limitação do trabalhador no aspecto subjetivo do trabalho, ou seja, nas dimensões cognitiva, psicológica e social (COUTAREL *et al.*, 2005). Assim, considera-se que a redução do índice entrópico é desfavorável sob o aspecto de PME.

3.5. Conforto

O conforto pode ser definido como “um estado agradável de harmonia fisiológica, física e psicológica entre o ser humano e o ambiente” (SLATER, 1985 *apud* CHAFFIN *et al.*, 2001). Neste sentido, não se pode relacionar diretamente o conforto à redução ou ao aumento do índice entrópico associado a um posto de trabalho, uma vez que, sob alguns aspectos é favorável o aumento do índice entrópico e, sob outros aspectos, é favorável a redução deste. Por exemplo, do ponto de vista do conforto físico a posição sentada é mais confortável que a posição em pé, pelo menos por algum tempo. Entretanto, ao longo do tempo uma mesma posição, mesmo que confortável no início, acaba por tornar-se desconfortável. Tarefas repetitivas são, em geral, desconfortáveis.

Considera-se aqui que no aspecto da posição do trabalhador, a redução do índice entrópico é favorável para a melhoria do conforto em um posto de trabalho. Entretanto, esta redução é desfavorável em relação à atividade realizada, na medida em que ela acaba por tornar-se monótona e invariante, podendo também gerar PME. Há uma dimensão temporal que não pode ser descartada, que faz com que uma situação confortável venha a tornar-se desconfortável com o passar do tempo.

4. Modelagem de Posto de Trabalho

Este estudo propõe uma representação sistêmica de posto de trabalho, constituída por um *trabalhador* posicionado em um certo *suporte* mecânico de apoio e/ou sustentação e uma atividade biomecânica deste operador em relação a um *objeto* de trabalho, que é chamada de *ação*. O *suporte* pode ser uma cadeira, as próprias pernas do trabalhador, caso trabalhe em pé, ou ainda qualquer alça, apoio ou elemento similar para auxiliar e assegurar a manutenção da posição de trabalho, bem como o acesso ao objeto de trabalho. A *ação* é o conjunto de movimentos que o trabalhador realiza especificamente para executar a atividade de trabalho. O objeto de trabalho é aquilo que recebe a ação de trabalho e assume por fim a forma resultante deste trabalho; pode ser uma peça na linha de montagem, um objeto de arte, ou coisa semelhante. A figura 1 esboça um esquema do posto de trabalho descrito. Esta representação é bastante reducionista e não envolve a complexidade subjetiva inerente a muitos aspectos da análise ergonômica, entretanto, é necessária para os objetivos aqui pretendidos.

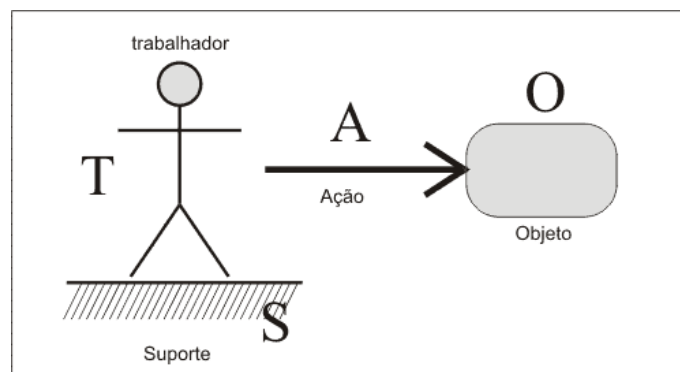


Figura 1. Modelo sistêmico de posto de trabalho adotado.

Identifica-se neste modelo de posto de trabalho os seguintes subsistemas:

- *Trabalhador-Suporte* (TS): designa a interação do trabalhador com o suporte e envolve todos os movimentos do trabalhador, voluntários e involuntários, para assegurar e manter as posições de trabalho; as contrações musculares isométricas (tensões) provocadas pela manutenção da posição, bem como as reações normais do suporte em relação às forças exercidas pelo trabalhador. As restrições de acesso ao objeto de trabalho e as restrições e impedimentos à posição do trabalhador são consideradas neste subsistema.
- *Trabalhador-Ação* (TA): designa as ações biomecânicas dos membros do trabalhador para a realização da atividade de trabalho e envolve todos os esforços musculares e articulares necessários para esta realização. Todas as restrições ao movimento de trabalho são consideradas neste subsistema.
- *Ação-Objeto* (AO): Interação da ação do trabalhador com o objeto de trabalho. Designa o conjunto de ferramentas, peças e meio físico onde o trabalho é executado. As restrições da ação no objeto são consideradas neste subsistema.

Um exemplo de um posto de trabalho desta natureza pode ser um trabalhador em pé na frente de uma esteira de montagem, sobre a qual está um objeto com uma porca que tem que ser apertada pelo trabalhador. O subsistema TS envolve, a grosso modo, as pernas do trabalhador mantendo a sustentação sobre o piso e a contração lombar necessária para o trabalhador debruçar-se sobre a esteira, formando um arco com o corpo para não tocar a borda em movimento desta. TA envolve o movimento dos braços do trabalhador no plano transversal para realizar a torção sobre a porca. AO designa a peça com a porca sendo apertada, a ferramenta utilizada e a esteira.

Vale ressaltar que neste modelo de posto de trabalho não está prevista uma representação do ambiente e suas condições, como temperatura e nível de ruído, restrições de tempo e condições gerais do trabalho fora do aspecto físico (sociais, cognitivas e psicológicas).

5. Medição da Entropia em Postos de Trabalho

São definidas formas de mensuração do índice entrópico para os três subsistemas identificados no modelo de posto de trabalho.

5.1. Entropia no subsistema TS

Considera-se que em um estado de equilíbrio perfeito do trabalhador com o suporte, nenhum esforço motor ou contração muscular não natural sejam necessários para assegurar a estabilidade do trabalhador. Ou seja, não há nenhum grau de liberdade para movimento na ausência de forças da parte do trabalhador. Um exemplo de uma posição como esta é a posição deitado relaxado.

A medida do índice entrópico para o subsistema TS toma como ponto de referência os graus de liberdade da posição do trabalhador em relação às forças que atuam sobre ele.

Deve-se considerar também a posição dos segmentos corporais do trabalhador em relação ao estado de equilíbrio: um trabalhador sentado em uma cadeira (CHAFFIN, 2001), com os braços e pernas em equilíbrio, com a coluna apoiada em encosto está bastante próximo do estado de equilíbrio. Curvando-se para frente, a postura assume graus de liberdade no tronco. Os graus de liberdade dos segmentos corporais podem ser avaliados utilizando-se um sistema de coordenadas generalizadas de Lagrange (SYMON, 1982), conforme mostra a figura 2. Geralmente, a postura assumida para a atividade de trabalho não está perfeitamente apoiada.

De forma geral, o índice entrópico no subsistema TS é calculado a partir do número de graus de liberdade da posição assumida pelo trabalhador para execução da atividade de trabalho.

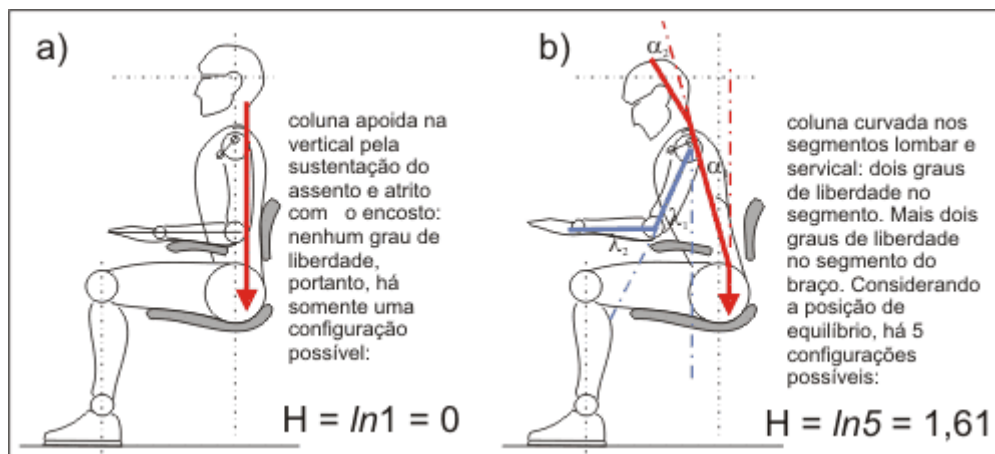


Figura 2. graus de liberdade e índice entrópico associado. a) posição em equilíbrio e segmentos corporais apoiados. b) Fora da posição de equilíbrio com quatro variáveis em coordenadas generalizadas, compondo quatro graus de liberdade além da posição de equilíbrio.

5.2. Entropia no subsistema TA

A entropia no subsistema TA está relacionada aos graus de liberdade de movimento associados à realização da ação e às possibilidades de realização da mesma ação usando grupos motores distintos. Por exemplo, uma porca na horizontal pode ser apertada com uma chave-de-boca a partir do desvio ulnar do pulso e da flexão do cotovelo. Entretanto, a mesma tarefa pode ser igualmente realizada se o trabalhador, segurando na mesma posição a chave-de-boca, fizer uma rotação em torno da porca com todo o corpo (figura 3).

Considera-se o número de configurações do posto de trabalho para o subsistema TA como o número de formas de realização de uma mesma atividade, usando diferentes grupos motores. Chama-se isto de *configurações motoras* para a ação. Assim, quanto maior o número de configurações motoras que puderem ser usadas para a realização da atividade de trabalho, maior o índice entrópico associado a este posto de trabalho no subsistema TA. Por outro lado, quanto mais restrições houver aos movimentos do trabalhador, menor o número de configurações motoras que podem ser usadas para a realização da atividade. No exemplo da figura 3, havendo impedimentos laterais ao movimento do tronco e pernas, a ação só poderá ser feita pelo movimento do cotovelo e pulso.

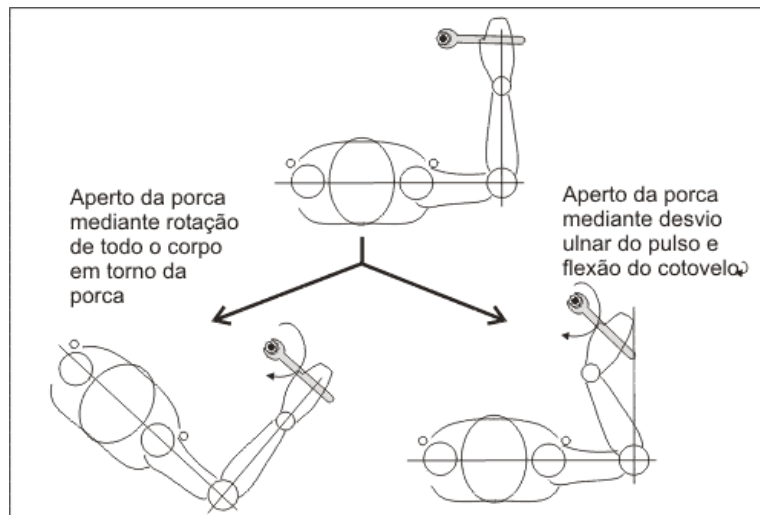


Figura 3. Duas possibilidades de configurações motoras para a realização da atividade de apertar uma porca com chave de boca.

5.3. Entropia no subsistema AO

Propõe-se que a entropia no subsistema AO esteja relacionada ao número de configurações possíveis previstos na tarefa de trabalho, sendo estas configurações determinadas pelo arranjo físico do posto de trabalho: disposição de elementos, ferramentas e modo de fazer. Por exemplo, para uma tarefa que prescreve a colocação de dois parafusos diferentes em uma peça com dois furos diferentes, verifica-se as seguintes configurações possíveis: se os parafusos e furos forem indistinguíveis aos sentidos do trabalhador e os parafusos estiverem misturados em quantidades iguais em um mesmo recipiente, tem-se uma probabilidade p de execução correta da tarefa dada por 50% de probabilidade de, ao pegar um parafuso coloca-lo no furo certo e 50% de, ao pegar outro parafuso, este ser o adequado ao furo restante, ou seja

$$p = \frac{1}{\Omega} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{4} \Rightarrow \Omega = 4 \Rightarrow H = \ln 4 \Rightarrow H = 1,39$$

Uma forma de redução do índice entrópico associado a este arranjo é separar os parafusos em dois recipientes distintos, o que proporciona duas configurações possíveis ($H=0,69$). Pode-se reduzir a zero o índice entrópico (somente uma configuração possível) tornando-se os parafusos e furos distinguíveis para o trabalhador, com a utilização de cores, por exemplo.

6. Análise

Fazendo-se um contraponto da discussão realizada para os aspectos ergonômicos do trabalho, discutidos no item 3, com os subsistemas associados a um posto de trabalho, obtém-se uma correlação entre o aumento ou redução do índice entrópico sob cada aspecto e para cada subsistema, conforme mostra a tabela 1. A seta para baixo significa que a redução e índice

entrópico é favorável para a melhoria da condição de trabalho sob um aspecto e para um subsistema. A seta para cima indica, analogamente, que o aumento é favorável.

	TS	TA	AO
Aprendizagem da execução de tarefas	↓	↓	↓
Monotonia	↑	↑	↑
Variabilidade	↑	↑	↑
PME	↓	↑	↑
Conforto	↓	↑	↑

Tabela 1. Aumento ou redução do índice entrópico para a melhoria da condição de trabalho.

Desta forma, pode-se identificar uma função que melhora a condição em um posto de trabalho com o aumento do índice entrópico e outra função que melhora a condição com a redução do índice entrópico. Estas funções são denotadas, respectivamente, por F_{au} e F_{red} . Retomando o conceito de Fator de Compatibilidade do Trabalho (WFC), proposto por Wallace *et al.* (2003), verifica-se que este pode ser entendido como um produto destas duas funções:

$$WFC = F_{au} \cdot F_{red} \quad (4)$$

De forma intuitiva, pode-se associar a F_{au} uma função inicialmente linear crescente, que pode tender assintoticamente a um WFC máximo com o aumento do índice entrópico. Para índice entrópico $H = 0$ tem-se $F_{au} = 0$. Assim, tem-se uma aproximação linear dada por

$$F_{au} = aH \quad (5)$$

Para F_{red} é associada uma função exponencial decrescente que parte de um WFC máximo e tende assintoticamente a zero com o aumento do índice entrópico:

$$F_{red} = be^{-\alpha H} \quad (6)$$

As constantes a , b e α são usadas para ajuste.

O fator de compatibilidade para o trabalho WFC fica associado ao índice entrópico através de

$$WFC = cHe^{-\alpha H} \quad (7)$$

onde c e α passam a ser as constantes de ajuste. Uma solução numérica para esta equação permite obter uma curva como a da figura 4.

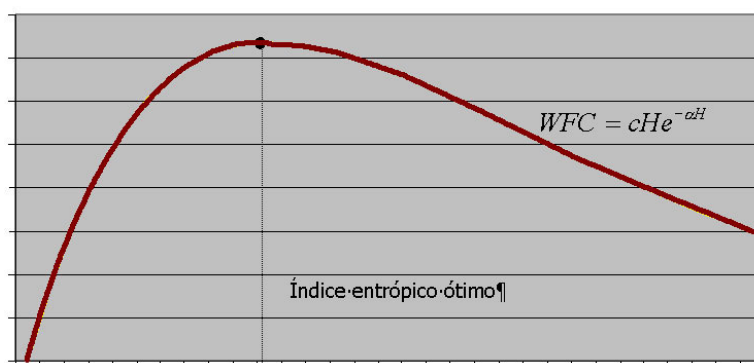


Figura 4. Representação gráfica da equação para obtenção do fator de compatibilidade em função do índice entrópico.

7. Discussão Final

Embora este trabalho apresente uma visão determinista em relação à avaliação ergonômica de

postos de trabalho, o principal foco é a proposição de uma métrica para avaliação de condições de estado nas dimensões aqui apresentadas e para as quais o conceito de entropia pode ser significativo. Não há a intenção de minimizar as considerações de ordem subjetiva em relação à avaliação ergonômica.

Em relação à métrica proposta, verifica-se a possibilidade prática de mensuração do índice entrópico (avaliação quantitativa) a partir do número de configurações apresentado. Entretanto, a avaliação qualitativa do índice entrópico para um posto de trabalho é indissociável de funções que, como apresentado aqui, podem favorecer ou desfavorecer as condições de trabalho. Além disto, os aspectos ergonômicos avaliados (aprendizagem de tarefa, conforto, monotonia, variabilidade e PME) são interdependentes, como também o são os três subsistemas identificados, o que dificulta a avaliação qualitativa. A função para o fator de compatibilidade do trabalho apresentada (equação 7) tem o papel de representar esta interdependência no aspecto comportamental, assinalando que deve haver um valor ótimo para o índice entrópico associado ao posto de trabalho que maximiza o WFC.

Referências

- ABRAHÃO, Julia Issy. Reestruturação Produtiva e Variabilidade do Trabalho: Uma Abordagem da Ergonomia. *Psicologia: Teoria e Pesquisa*, Jun-Abr 2000, Vol. 16 n. 1, pp. 049-054
- ANDERSON, Shona; SHOLES, Kevin. An Ergonomics Study to reduce Musculoskeletal Injuries in a Repair and Update Manufacturing Environment. *Proceedings of IEA*, vol. 2, p. 63-65, 1994.
- BOUYER, G. C.; SZNELWAR, L. I. (2005). *Análise cognitiva do processo de trabalho em Sistemas Complexos de Operações*. Ciências & Cognição, ano 02, Vol 04, mar/2005. Disponível em <<http://www.cienciasecognicao.org/>>. Acessado em 25/04/2005.
- CALLEN, Herbert B. *Thermodynamics and an Introduction to Thermostatistics*. New York: Ed. John Wiley & Sons. 1985.
- CHAFFIN, D. B.; ANDERSSON, G. B. J.; MARTIN, B. J. *Biomecânica Ocupacional*. Belo Horizonte: Ergo, 2001.
- COUTAREL, F.; DANIELLOU F.; DUGUÉ, B. (2005). *La prévention des troubles musculo-squelettiques: quelques enjeux épistémologiques*. @ctivités, 2 (1), 3-18. Disponível em <<http://www.activites.org/v2n1/coutarel.pdf>>. Acessado em 23/04/2005.
- DANIELLOU, F. Questões epistemológicas acerca da ergonomia. In DANIELLOU, F. *A Ergonomia em Busca de Seus Princípios: debates epistemológicos*. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 2004.
- GUÉRIN, F.; LAVILLE, A.; DANIELLOU, F.; DURAFFOURG J.; KERGUELEN, A. *Compreender o Trabalho para Transformá-lo: a prática da ergonomia*. São Paulo: Ed. Edgard Blücher: Fundação Vanzolini, 2004.
- SLATER, K. *Human Confort*. Springfieldd. IL: Cherles C. Thomas, 1985.
- SYMON, K. R. *Mecânica*. Ed. Campus, 1982.
- WALLACE, S.; SHOAF, C.; GENAIDY A. M.; KARWOWSKI, W. *Assessing the Compatibility of Work System Factors Through an Integrative Model: a case study*. *International Journal of Occupational Safety and ergonomics*, 2003, vol. 9, no. 1, pp. 27-35.