

TECNOLOGIA APLICÁVEL A PRENSAS MECÂNICAS DE CHAVETA PARA SUA ADEQUAÇÃO A NORMA REGULAMENTADORA NR12

Jairo Aparecido Martins (Universidade de São Paulo) E-mail: jairophd@gmail.com
Estaner Claro Romão (Universidade de São Paulo) E-mail: estaner23@usp.br

Resumo: O mundo moderno cada vez mais se preocupa com a segurança, seja no cotidiano ou no ambiente de trabalho. O Brasil, como não poderia ser diferente, se move nesta direção de forma consistente e regulamentada. Este trabalho demonstra o perigo associado a prensas mecânicas excêntricas de chaveta, em referência a velocidade de reação do ser humano, propondo meios para tornar este tipo de máquina mais segura e com aumento da produtividade. Sendo através da apresentação de conceitos básicos de avaliação do sistema, este trabalho sedimenta ainda mais a consciência da necessidade de segurança.

Palavras-chave: Norma regulamentadora NR 12, Prensas Mecânicas, Prensa Chaveta, Embreagens.

APPLICABLE TECHNOLOGY ON MECHANICAL KEY PRESS TO CONFORM SAFETY STANDARD NR12

Abstract: The contemporary world is each time more aware about safety, being in the regular life of in the work environment. In Brazil, as could not be different, the tendency is the same towards a conscious and regulated way. This paper demonstrates the dangerous aspects of mechanical key presses, in reference to the human involuntary reaction speed, moreover proposes an alternative and secure way to have this type of machine safer and with an increase in productiveness. By the presentation of basic concepts of the system, this paper sediments even more the consciousness about the safety necessity.

Keywords: Standard NR12, Mechanical Press, Mechanical Key Press, Clutches.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de prensas é ampla no mundo atual, desde pequenas prensas de uso doméstico até prensas de porte gigantesco (ASME, 1981). Prensas são máquinas que se prestam aos mais variados processos de transformação mecânica, tais como: corte, dobra, repuxo, extrusão, calibragem, forjamento, vulcanização, cura de polímeros, vulcanização, etc.. (Pritzeltwitz, 2010). As prensas podem ser classificadas em dois grandes grupos, prensas mecânicas e prensas hidráulicas, com consequentes derivações, de acordo com o processo a ser efetuado.

Quando se trata especificamente do sistema de transmissão do movimento do martelo, as prensa detêm algumas variações de projeto (Cerna, 2013), a saber: Mecânicas excêntricas de engate por chaveta ou acoplamento equivalente (Nascimento, 2010), Mecânicas excêntricas com freio embreagem (Silva, 2008), De fricção com acionamento por uso (Bittencourt, 2012), Servoacionadas (Justus, 2008) e Hidráulicas, Pneumáticas e Hidropneumáticas (Andrade, 1996).

No mercado brasileiro existem milhares de prensas sendo utilizadas, dentre elas, inúmeras de grande porte. Por outro lado, algumas delas não detêm tecnologias contemporâneas que propiciem ganhos expressivos de qualidade e produtividade e com um pano de fundo de segurança (Silva, 2008). Com o avanço das exigências de segurança no mundo todo e no Brasil através da norma regulamentadora [NR 12], muitas máquinas foram classificadas como inseguras e outras proibidas. Dentre as diversas máquinas no mercado, muitas prensas

excêntricas e hidráulicas não possuem sistemas mínimos de segurança e requerem investimento. As prensas do tipo chaveta, em particular, são consideradas proibidas, quando na sua concepção original de projeto.

Prensas mecânicas comumente conhecidas como “Prensas Chaveta” (Figura 1) ou mais detalhadamente “Prensa mecânica excêntrica de acionamento por engate de chaveta” (Cerna, 2013) estão entre as máquinas mais perigosas presentes no mercado, conflitanto muito com as condições mínimas necessárias de operação requeridas na norma regulamentadora NR-12.

As indústrias de reforma de máquinas (*retrofit*), como não poderia ser diferente, estão se adequando de forma contundente aos quesitos segurança regulamentados, isso de forma econômica e preservando a prensa, principalmente sua característica de robustez estrutural, muito comum em projetos de um passado não muito distante.

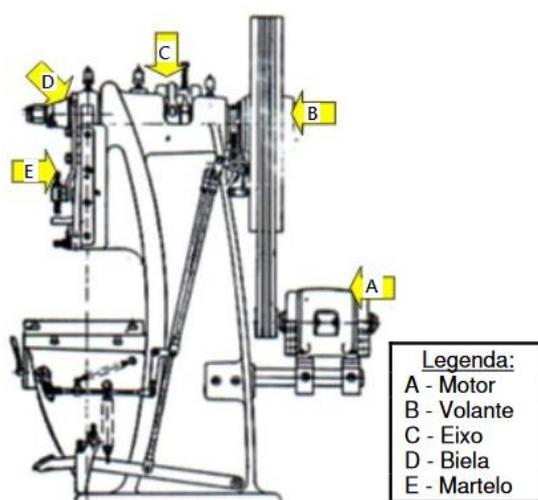


Figura 1 – Prensa Excêntrica tipo chaveta (FIERGS 2006).

1.1 – REAÇÃO HUMANA

A insegurança na operação de máquinas operatrizes se mostra diretamente relacionada a reação da pessoa que a opera, por isso da necessidade de proteções de acesso ao homem na região de trabalho. A reação involuntária do ser humano é o grande agente do perigo de ferimento, agindo o operador de forma quase instintiva e imediata na correção de desvios de operação durante o trabalho.

Alguns autores como Hickel (2011), Costa (2014), Querumbino (2009), dentre outros, demonstram que a reação do ser humano, em média, e para uma pessoa jovem em bom estado de saúde, varia entre 0,15 e 0,45 seg. Este é praticamente o tempo que o cérebro necessita para processar as informações recebidas e efetuar uma ação.

Os experimentos realizados nesta área do conhecimento se baseiam na observância das equações básicas da física, como para um movimento uniformemente acelerado, Halliday & Resnick (2016), a saber:

$$y = y_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad (1)$$

O tempo relativo à reação humana é verificada através da soltura de um objeto previamente conhecido a uma distância vertical previamente determinada. Os resultados

obtidos respeitam a equação (1) previamente descrita, à qual, após algumas manipulações, pode gerar as duas próximas expressões (equações (2) e (3)), onde $\Delta y = y - y_0$ e $a = g$ para $g = 9,8 \text{ m/s}^2$, sendo a aceleração da gravidade.

$$t^2 = \frac{\Delta y}{v_0 + 4,9 \cdot 10^3} \tag{2}$$

E para v_0 igual a zero, tendo;

$$t^2 = \frac{\Delta y}{4,9 \cdot 10^3} \tag{3}$$

onde: t como sendo tempo em segundos, Δy o deslocamento linear real (mm) e v_0 a velocidade inicial (mm/s^2).

1.2 – CONDIÇÃO INSEGURA

A condição de insegurança de uma prensa mecânica tipo chaveta ocorre pela necessidade mecânica de parada do seu martelo somente após uma volta completa. Essa parada ocorre pelo engate mecânico da chaveta no sistema no volante de inércia da máquina, havendo assim a frenagem do martelo / ferramenta. A Figura 2 demonstra o deslocamento angular do eixo excêntrico da prensa, o movimento linear do martelo e tempo decorrido pela máquina, além da velocidade de reação humana envolvida.

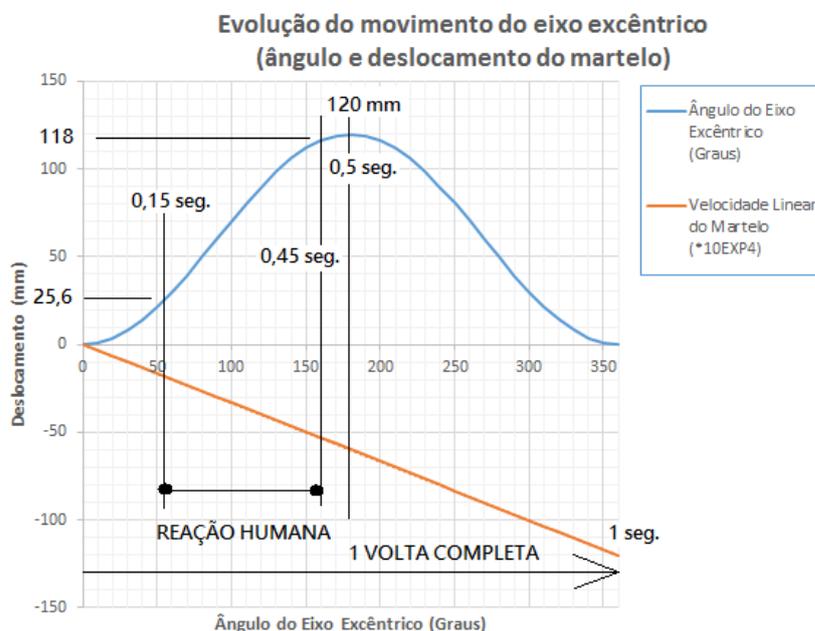


Figura 2 – Movimento do eixo excêntrico da Prensa.

Nota-se através da Figura 2 que, partindo-se do ponto superior do martelo verifica-se que a reação humana ocorreria entre a posição do martelo de 25,6 mm à 118 mm, conseqüentemente ângulo do eixo excêntrico entre 55 e 160°. Esse é um pequeno exemplo para uma prensa com raio de excêntrico de 60 mm (curso 120 mm) e rotação mínima de trabalho da ordem de 60 min^{-1} , ou seja 60 golpes por minuto 60 (GPM).

Por outro lado, a reação do operador, conforme demonstrado, não necessariamente deveria partir do ponto morto superior da prensa, e sim a qualquer instante no qual houvesse alguma avaria, segundo o julgamento do operador. Tal avaria geraria uma reação do operador que o remetesse a intervenção da operação na região de trabalho da prensa. Infelizmente, para a prensa tipo chaveta a parada somente ocorreria após o ciclo completo, de 360 graus.

2 – APLICAÇÃO DE EMBREAGEM INDUSTRIAL

2.1- Descrição e segurança

Embreagens são componentes mecânicos que se prestam a transmitir movimento através do torque, são dispositivos que possibilitam um acoplamento arbitrário, para a transmissão de torque entre um eixo motor e um movido (Collins, 2006; Niemann, 2002; Marshek, 1991). Este elemento pode ser acionado mecanicamente, pneumaticamente ou mesmo hidraulicamente, fazendo uso do princípio de transferência de movimento por meio de atrito, entre o lado motor e o movido do equipamento. Esse sistema de embreagem, normalmente denominado combinação de freio e embreagem, é utilizado em prensas excêntricas mecânicas para transferir a energia do volante de inércia da máquina ao eixo de rotação do mecanismo do sistema. Garante também a parada quase instantânea do movimento do martelo em qualquer posição do seu deslocamento.

Seu projeto contempla materiais de alta resistência mecânica, como o ferro e aço, propiciando alta resistência mecânica e à fadiga. Já pelo lado do dimensionamento há uma preocupação constante quanto a troca de calor presente no sistema. O assunto térmico é tratado, por exemplo, no desenho da embreagem por meio da determinação de aletas para que ocorra o melhor fluxo de transferência de calor possível entre os elementos em fricção. A fricção ocorre entre as placas metálicas da embreagem, chamada de flange e pistão, com um material resinóide, colado aos discos de acoplamento e frenagem, de alta capacidade ao cisalhamento, estabilidade térmica e de resistência à compressão (DESCH, 2013).

Dentre os equipamentos e máquinas acionados por meio de embreagens estão tipicamente: bombas, ventiladores prensas excêntricas mecânicas, compressores, caixas de câmbio, geradores, extrusoras de barro, etc.. (Norton, 2004; Shigley et.al. 2005).

(a)



(b)

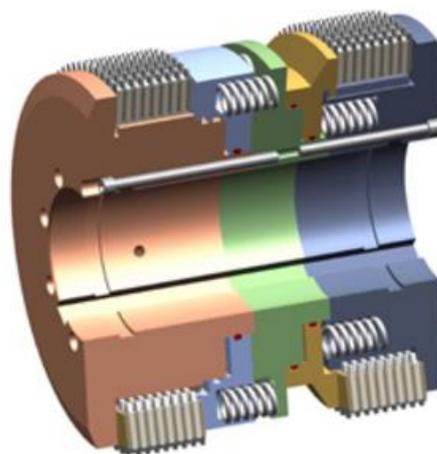


Figura 3 - Combinação Freio e Embreagem pneumática DESCH LKB (a) e hidráulica HKB (b) para torques até 165 kNm e 250 kNm (DESCH, 2013).

A instalação de embreagem pneumática (Figura 3) em prensa tipo chaveta é perfeitamente possível e praticamente elimina o tempo de espera do ciclo completo da máquina para a sua frenagem. A combinação com proteção mecânica ou cortina de luz praticamente elimina o risco de acidente devido a velocidade de reação do ser humano.

2.2- Dimensionamento

Pelo uso deste elemento de máquina e na determinação do torque possível transferível (para uma modelagem de para uma pressão constante) pode-se determinar algumas de suas características de construção (modelo e tamanho). Para isso, o dimensionamento apropriado parte do seguinte equacionamento, a saber.

Para uma espessura de disco dr , suportando uma pressão p quando a força de contato é dF . Sendo a pressão p a mesma para qualquer ponto da superfície de contato a força, dF pode ser determinada por:

$$F = \int_{r_i}^{r_o} 2 \cdot \pi \cdot p \cdot r \cdot dr = \pi \cdot p \cdot (r_o^2 - r_i^2) \quad (4)$$

Sendo o torque determinado por:

$$T = \int_{r_i}^{r_o} 2 \cdot \pi \cdot p \cdot r^2 \cdot f \cdot dr = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot p \cdot (r_o^3 - r_i^3) \quad (5)$$

Pela consideração de duas superfícies de atrito a equação se torna:

$$T = \frac{4F(r_o^3 - r_i^3)}{3(r_o^2 - r_i^2)} \quad (6)$$

Já para um acionamento de caráter dinâmico, este torque deve também ser associado a característica mecânica e dinâmica de uma prensa, daí então da consideração mais usual do cálculo do torque, requerido por uma combinação freio e embreagem, como por exemplo;

$$\tau = I \cdot \alpha \quad (7)$$

Esse torque, é diretamente proporcional a aceleração que se deseja impôr a um volante de inércia ou a variação da velocidade angular no tempo, condizente com a energia necessária ao processo de conformação efetuado pela prensa. Trabalhando um pouco mais a equação (7) para facilitar os cálculos mediante as variáveis mensuráveis temos:

$$\tau = m \cdot R^2 \cdot \dot{\omega} \text{ sendo ainda decomposto em: } \tau = m \cdot R^2 \cdot \frac{\omega_f - \omega_0}{t} \quad (8)$$

Sendo: τ = torque (Nm), α = aceleração angular (rad/s²), m = massa (kg), R = raio do volante da prensa (m), $\dot{\omega}$ = primeira derivada da velocidade angular = aceleração angular (rad/s²) $\bar{\omega}$ = velocidade angular média (rad/s), θ = ângulo de trabalho do torque (rad), ω_f = velocidade angular final (rad/s), ω_0 = velocidade angular inicial (rad/s), t = tempo (seg.), ω = velocidade angular nominal (rad/s), W = energia cinética (Joules), K = constante (adimensional), E = energia cinética (Joules).

A aceleração, sendo a primeira derivada da velocidade angular, considera a variação da velocidade angular num intervalo de tempo estabelecido. Isso significa que quanto menor o tempo que se deseja acelerar ou desacelerar um volante, aproveitando essa energia, maior será o torque necessário para tal. Para o caso de uma prensa excêntrica mecânica, como descrito

anteriormente, assume-se, na maioria das vezes, uma variação da velocidade angular do volante da ordem de 20%, ou seja, $C_f = [(\omega_f - \omega_i) / \omega] = 0,2$ (adimensional) (Gopinath e Mayuram, 2013). Esse ocorre devido a necessidade de recuperação do torque do motor elétrico no intervalo entre ciclos de prensagem da máquina (Brown, 2005).

O conhecimento do ângulo de acionamento ou frenagem, em relação à segurança é de extrema importância e segue a seguinte equação:

$$\theta = \bar{\omega} \cdot t \tag{9}$$

Sendo a energia consumida de:

$$W = \tau \cdot \theta \tag{10}$$

Ou pelo princípio de energia em relação a trabalho como:

$$W = K \cdot E = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2 = \frac{1}{2} m \cdot R^2 \cdot (\omega_f - \omega_0)^2 \tag{11}$$

Conforme mencionado, essa energia calculada deve ser igual a energia consumida pelo processo de prensagem da máquina na transformação mecânica do material no processo. A embreagem deve ser capaz de transferir esta energia, por meio da transferência do torque na sua plenitude e sem escorregamento, não comprometendo a eficácia do processo. Uma das formas mais rápidas e práticas de se determinar o torque necessário a embreagem e por conseguinte determinar seu tipo e tamanho é através do cálculo estático, o qual leva em consideração somente a geometria e a capacidade da prensa em questão, conforme demonstra a Figura 4 e a equação (12) que segue.

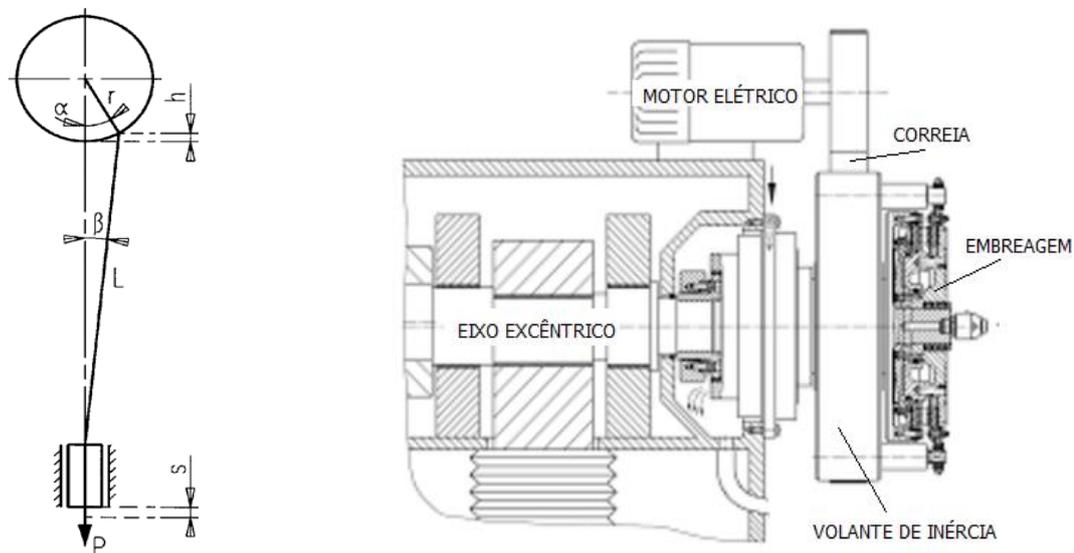


Figura 4 – Esboço do mecanismo de prensa com aplicação de embreagem (DESCH, 2013).

$$\tau = \frac{\text{sen}(\alpha + \beta)}{\text{cos}\beta} \cdot P \cdot r \tag{12}$$

Onde τ é o torque a ser transmitido pelo eixo excêntrico da prensa (Nm), α é o ângulo máximo do esforço antes de alcançar ponto morto inferior da Prensa (Graus), β é o ângulo entre a biela e a linha vertical de aplicação da força do martelo, no momento de máximo esforço (Graus), P a capacidade da prensa (N) e r o raio do excêntrico do eixo do martelo (mm).

Já o tempo de frenagem do martelo, tão importante no quesito segurança, pode ser determinado por:

$$t_3 = \frac{t_{12}}{2} + k \cdot \frac{J \cdot \omega}{M_k} \quad (13)$$

Sendo t_3 o tempo de escorregamento durante a acoplagem do freio (seg.), t_{12} o tempo necessário para alcançar o torque (entre 2 e 80 ms – consultar fabricante), k o coeficiente de correção (1,25 para embreagem pneumática e hidráulica), J o momento de inércia reduzido ao eixo da embreagem (kgm^2), ω velocidade angular do eixo da embreagem (rad/s) e M_k o torque do freio indicado no catálogo do fabricante (Nm) (DESCH, 2013).

O tempo total de frenagem pode ser determinado por:

$$t_t = t_{11} + t_3 \quad (14)$$

O valor de t_{11} é uma variável que depende da embreagem empregada, pneumática ou hidráulica e pode ser consultado com o fabricante.

Já o ângulo de frenagem pode ser calculado como:

$$\theta_f = 6 \cdot n \cdot t_{11} + 3 \cdot n \cdot t_3 \quad (15)$$

Sendo θ_f o ângulo de frenagem (Graus), n a rotação no eixo da embreagem (min^{-1} ou rpm), t_3 o tempo de escorregamento durante a frenagem, t_{11} uma variável dependente do tipo da embreagem e do fabricante, este último a ser consultado.

3. CONCLUSÕES

O risco associado a prensas mecânica de chavetas é eminente e incompatível com a necessidade de adequação a norma regulamentadora NR-12. Seu movimento ininterupto e de parada somente mediante uma volta completa, conforme descrito anteriormente, inviabiliza totalmente sua operação dentro de um caráter seguro.

A aplicação de barreiras físicas para esse tipo de prensa é uma realidade porém, em benefício da segurança compromete a produtividade da máquina.

A reação humana, em termos de tempo, inviabiliza qualquer operação em prensas mecânicas de chaveta de forma muito clara e objetiva, requerendo adequação no intuito da preservação da integridade do trabalhador.

A tecnologia da combinação de freio embreagem disponível no mercado permite o controle da atuação da prensa assim como a frenagem do seu eixo, consequentemente do martelo em fração de segundos.

Toda a prensa mecânica de chaveta é passível a adaptação de um conjunto de freio embreagem a um nível de custo razoável, ainda assim mantendo a grande vantagem de alta robustez da prensa, normalmente presente em prensas relativamente antigas.

O tempo de frenagem e ângulo podem ser facilmente determinados através das equações descritas, feitas pelo próprio usuário e/ou responsável pelo *retrofit* da prensa ou em consulta ao fabricante.

A aplicação do conjunto de freio embreagem possibilita o dimensionamento, também do posicionamento de cortina de luz na prensa, tornando a máquina ainda mais segura e trazendo consigo uma produtividade superior.

AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos são endereçados FAPESP (Proc. 2014/06679-8) e DESCH do Brasil pelo suporte e financiamento do projeto.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, L. C.M. *Mecânica, utilização de equipamentos mecânicos*. CPM - Programa de Certificação de Pessoal de Manutenção, SENAI e CST, Espírito Santo, 1996.

ASME. *National historic mechanical engineering landmark 50.000t closed die, forging press. Nova Iorque , 1981.*

BITTENCOURT S.D. *Segurança em prensas e similares. Monografia do Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.*

BROWN T.H. *Marks' Calculations for Machine Design. McGraw-Hill. ISBN 0-07-143689-8, 2005, 445p.*

CERNA P.C.F. *Retrofitting de uma prensa mecânica excêntrica de acionamento por engate de chaveta. Monografia de especialização, Universidade Federal Tecnológica do Paraná, Curitiba 2013.*

COLLINS J.A. *Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas, editora LTC, 1ª edição, 2006, 760p.*

COSTA M.S.M, INABA, A.K.F, JESUS, F.O, GOMES J.F.M, PAES, E.A, BILESSY L.R. (2014). *Estudo comparativo do tempo de reação humana entre indivíduos da mesma faixa etária. Tevista Científica Eletrônica de Ciências Aplicadas da FAIT, 2006.*
http://fait.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque

DESCH. *Smart Drive Solutions. Embreagens industriais pneumáticas, tipo LKB e HKB, 2013. www.desch.com.br*

FIERGS. *Manual de segurança em prensas e similares. Porto Alegre: Conselho de Relações do Trabalho e Previdência Social, Grupo de Gestão do Ambiente de Trabalho, 2006.*

GOPINATH, K, MAYURAM, M.M. *Flywheel, Machine Design II. Indian Institute of Technology Madras, 2013.* <http://www.nptel.ac.in/courses/112106137/32>

HALLIDAY & RESNICK. *Fundamentos da Física – Mecânica, 10 edição, 2016, 372p.*

HICKEL G. *Tempo de reação humana, 2011.*

http://www1.univap.br/irapuan/files/Apostila_Fisica_Experimental.pdf

JUSTUS E. *Máquinas: Mudança no conceito básico do funcionamento de prensas. Revista do Parafuso, edição Nº 10, 2008.*

MARSHEK. *Fundamentals of Machine Component Design. Third edition Robert Juvinall & Kurt M. NewYork, John Wiley ISBN 0 471 529 893, 1991, 137p.*

NASCIMENTO W. *Máquinas e Equipamentos, Prensas mecânicas excêntricas de engate por chaveta ou acoplamento equivalente – PMEEC, 2010.* <http://wagner-nascimento.webnode.com.br/prensa%20mec%C3%A2nicas%20exc%C3%A2ntricas%20-%20pmeec%20/>

NIEMANN G. *Elementos de Máquinas – Vol. 1, editora Edgard Blücher, 1971, 232p.*

Norma regulamentadora NR 12 – Máquinas e Equipamentos, 2002.

<http://www.normaslegais.com.br/legislacao/trabalhista/nr/nr12.htm>

NORTON, R. L. *Projeto de Máquinas, uma abordagem integrada. 2. edição. Porto Alegre: Bookman, 2004. 932.*

PRITZELWITZ P. *Investigação do desgaste de freio e embreagens em prensas mecânicas. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2010.*

QUERUMBINO A. *Tempo de Reação Humana sob Condição de Estresse, Ciências Biológicas na UNIVAP, 2009.*

SHIGLEY, J. E., MISCHKE, C. R., BUDYNAS, R. G. *Projeto de Engenharia Mecânica. 7 edição, Porto Alegre: Bookman, 2005. 960 p.*

SILVA, K.P.A. *Identificação de riscos e prevenção de acidentes em prensas e similares. Dissertação de Pós-Graduação em Engenharia de Segurança no Trabalho. Faculdades Integradas de Araraquara (FIA), Araraquara, 2008.*