

FATOR DE CARGA, CUSTOS COM ENERGIA REATIVA EXCEDENTE E CUSTO UNITÁRIO DE ENERGIA ELÉTRICA EM UNIDADES ARMAZENADORAS DE GRÃOS

Eduardo David¹, Gabriela Mayara Goes Escano², José Gabriel Vieira Neto¹, Fernanda de Camargo Cabelleira dos Santos²

¹Professor no Departamento de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Maringá. Cidade Gaúcha – PR. Rod. PR 482, km 45, CEP 87820-000. E-mail: eduagrounic@yahoo.com.br, jgvneto2@uem.br

²Engenheira Agrícola – Universidade Estadual de Maringá. Cidade Gaúcha – PR. E-mail: gabriela.escano@hotmail.com, fefa_cabelleira@hotmail.com

RESUMO: O custo da energia elétrica a cada dia está ficando maior, e devido a isto, é necessário utilizá-la de forma racional para evitar seu dispêndio. Unidades armazenadoras de grãos apresentam elevado consumo de energia elétrica em seus processos para manter os grãos em perfeitas condições para posterior consumo. Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo verificar a eficiência do uso de energia elétrica no ano de 2013 de 11 unidades de armazenamento de grãos do noroeste e norte do estado do Paraná, enquadradas na modalidade tarifária Horo-Sazonal Verde, e quanto o dispêndio de energia elétrica influenciou no valor final do custo da nota fiscal de energia. Para tanto, analisou-se os valores do fator de carga, de energia reativa excedente e os custos unitários de quilowatt-hora (kWh), os quais foram obtidos a partir de dados contidos nas notas fiscais de energia elétrica das referidas unidades. Todas as unidades de armazenamento de grãos apresentaram baixos valores de fator de carga, indicando concentrações de consumo de energia elétrica em curtos períodos de tempo. O excesso de energia reativa contribuiu significativamente no aumento do valor do custo unitário kWh para todas as unidades de armazenamento de grãos.

PALAVRAS-CHAVE: Enquadramento tarifário, Armazenamento de grãos, Conservação de energia.

LOAD FACTOR, ABOVE COSTS OF REACTIVE ENERGY AND ELECTRICAL POWER UNIT COST IN GRAIN WAREHOUSING

ABSTRACT: The electricity cost each day is getting bigger, and because of this, it is necessary to use it in a rational way to avoid their expenditure. Storage units of grains of which present high electricity consumption in their processes to keep the grain in perfect condition for later consumption. Thus, this study aimed to verify the use of electricity in the year 2013 of 11 grain storage unit's northwest and northern of Paraná, framed in the tariff mode 'Horo-Sazonal Verde', and analyze how the electricity expenditure influenced the final value of the cost of the invoice of electricity. Therefore, we analyzed the values of load factor, reactive electricity surplus and unit costs in kWh, which were obtained from data contained in the invoices of electricity from such plants. All grain storage units have low load factor values indicating electricity consumption concentrations in shorter periods of time. Excess reactive electricity significantly contributed in increasing the value of the cost of kilowatt-hour per unit (kWh) for all grain warehousing.

KEYWORDS: Tariff framework, Grain storage, Electricity conservation.

INTRODUÇÃO

As unidades armazenadoras de grãos destinam-se ao recebimento e conservação técnica, física e fisiológica dos mesmos, realizando-se em suas dependências as operações de pós-colheita indispensáveis para a preservação das características do produto (Kolling et al, 2011). Essas unidades proporcionam ao consumidor a possibilidade de ter em sua mesa, durante todo o ano, os produtos oriundos dos grãos armazenados sem aumento significativo nos preços devido às épocas de safras e entressafras (Puzzi, 2010).

Segundo o Instituto de Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil – ICNA (2012), 62% das unidades armazenadoras do país trabalham com os grãos a granel, sendo os principais grãos armazenados a soja, o algodão, o milho, o trigo, o feijão e o arroz; os dois primeiros são voltados para o mercado externo e os outros para o mercado interno. As culturas de soja e de milho representam aproximadamente 84% da produção total de grãos no Brasil e o principal produtor de grãos é o Estado do Mato Grosso, seguido dos Estados do Paraná e Rio Grande do Sul (Embrapa, 2016).

Para seu funcionamento, as unidades de armazenamento de grãos fazem uso de elevado consumo de energia elétrica (Elias et al., 2017). Sua eficiência energética pode ser mensurada através da determinação e avaliação do fator de carga, do custo unitário de energia elétrica efetivamente pago pela unidade de armazenamento, pelo fator de potência e pela geração de energia reativa excedente.

O fator de carga, razão entre a demanda média e a demanda máxima no mesmo intervalo de tempo, pode ser deduzido pelas contas de energia elétrica e indica como a energia está sendo utilizada ao longo do tempo (Panesi, 2006). Conforme Viana et al. (2012), quanto maior o seu valor, menor o custo unitário do kWh, que associado à cobrança de reativos excedentes, aumenta o valor final das faturas de energia elétrica.

O fator de potência é o índice que demonstra o quanto de energia que a concessionária fornece (energia aparente ou total) que realmente está sendo transformada em energia ativa, a qual realmente realiza trabalho (Aneel, 2010a). Baixos valores de fator de potência provocam menor intensidade luminosa das lâmpadas, maior corrente de partida nos motores de indução, menor rendimento no funcionamento das máquinas e um alto valor de potência reativa, tornando necessário que a fonte geradora forneça mais potência aparente, resultando em sobrecarga para a empresa e para a concessionária de energia (Niskier e Macintyre, 2011).

Segundo Franchi (2012), motores superdimensionados ou com pouca carga, instalações de ar condicionado, equipamentos eletrônicos, transformadores superdimensionados, lâmpadas de descarga e máquinas de solda são as principais causas de baixo fator de potência.

Ainda segundo Niskier e Macintyre (2011), quando se é necessário aumentar a carga de uma indústria que está em sua capacidade máxima ou a rede sobrecarregada sem afetar a potência aparente ou total da instalação, instalam-se capacitores, que são dispositivos estáticos que introduzem capacitância em um circuito elétrico, compensando ou neutralizando o efeito de indução das cargas indutivas, as quais irão diminuir a potência reativa absorvida, aumentar o fator de potência, e, portanto, fazer crescer a potência ativa ou efetiva.

A diminuição da despesa com energia elétrica e a tomada de decisões em relação a projetos de eficiência energética iniciam-se escolhendo o melhor enquadramento tarifário para a unidade consumidora (Procel, 2011). Para tanto, é importante compreender as faturas de energia elétrica e a estrutura tarifária vigente, e assim, além de outras análises, determinar os valores de fator de carga objetivando uma possível redução do consumo de energia elétrica e o seu uso racional.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi de analisar o comportamento do fator de carga, os custos finais com energia reativa excedente e sua influência no custo unitário final do kWh em unidades de armazenamento de grãos do noroeste e norte do estado do Paraná.

MATERIAL E MÉTODOS

As fontes para obtenção dos dados foram com base nas notas fiscais de energia elétrica, fornecidas pelas 11 unidades de armazenamento de grãos (soja, milho e trigo), enquadradas no nível de tensão do subgrupo A4 (2,3 kV a 25 kV), na modalidade tarifária Horo-Sazonal Verde.

As unidades em questão são aqui, neste trabalho, denominadas por: U1, U2, U3, U4, U5, U6, U7, U8, U9, U10 e U11, as quais possuem, respectivamente, capacidade estática de armazenamento de 24, 27, 30, 35, 36, 36, 50, 50, 51, 70 e 82 mil toneladas.

O levantamento e análise dos dados foi feito por meio das faturas de energia elétrica, na qual efetuou-se o levantamento de dados referentes aos 12 (doze) meses do ano de 2013, que foram: consumo, demanda, tarifas de consumo de energia elétrica e de consumo de energia reativa excedente, e os custos com a energia reativa excedente (multa cobrada sobre a tarifa normal devido o fator de potência estar abaixo de 0,92).

Com estes dados, determinou-se os valores de fator de carga individual, os custos unitários de energia elétrica efetivamente pagos e os custos de energia reativa excedente pagos por cada unidade armazenadora de grãos.

As metodologias utilizadas para determinação destes fatores são descritas a seguir:

Determinação do fator de carga: para o período de ponta e fora de ponta o fator de carga foi determinado através dos valores médios anuais de consumo e demanda obtidos através das contas tarifárias das unidades de armazenamento de grãos, e também de acordo com a metodologia de Haddad et al. (2006), expressa nas Equações 1 e 2, sendo que 66 e 664 correspondem às horas médias mensais trabalhadas nos períodos de ponta e fora de ponta, respectivamente.

$$FC_p = \frac{CA_p}{66 \cdot DR_p} \quad (1)$$

$$FC_F = \frac{CA_F}{664 \cdot DR_F} \quad (2)$$

Sendo: FC_p o fator de carga do mês na ponta; FC_F o fator de carga do mês fora da ponta; CA_p o consumo de energia (kWh) no mês na ponta; CA_F o consumo de energia (kWh) no mês fora da ponta; DR_p a demanda registrada máxima de potência (kW) no mês na ponta; DR_F a demanda registrada máxima (kW) no mês fora da ponta.

Determinação dos custos com energia reativa excedente: Nas contas de energia elétrica do grupo A vem especificado mensalmente a cobrança com Energia Reativa Excedente, e assim, com a soma dos valores mensais, verificou-se o quanto seria possível economizar anualmente no custo final das faturas, caso o fator de potência fosse igual ou maior que o valor de referência: 0,92.

Determinação do custo unitário de energia elétrica: nas contas de energia elétrica é especificado o Custo Unitário de energia elétrica (R\$ kWh⁻¹) para os horários de ponta e fora de ponta. Baixos valores de Fator de Carga associados à cobrança de reativos excedentes, aumentam o valor final das faturas de energia elétrica, aumentando o valor pago pelo Custo Unitário do kWh.

Segundo Haddad et al. (2006), o Custo Unitário ou custo médio de energia pode ser calculado pela Equação 3.

$$CU = \frac{CTC}{CA} \quad (3)$$

Sendo: CU o Custo Unitário ou custo médio da energia (R\$ kWh⁻¹); CTC o custo total da conta (R\$); CA o consumo de energia elétrica (kWh).

O custo total de energia consumida é igual ao produto entre o consumo e a tarifa de consumo (equação 4).

$$C = CA \cdot CT \quad (4)$$

Sendo: C o custo de energia (R\$); CA o consumo de energia elétrica (kWh); TC a tarifa de consumo (R\$ kWh⁻¹).

De acordo com as Equações 3 e 4, e através dos dados contidos nas notas fiscais de energia elétrica, o Custo Unitário efetivamente pago pelo consumo em cada período (ponta e fora de ponta) no grupo tarifário A, levando em consideração a Energia Reativa Excedente, pode ser determinado pelo somatório do consumo de energia elétrica (kWh) vezes a tarifa de consumo mais o consumo de Energia Reativa Excedente (kWh) vezes a tarifa de reativos excedentes, dividido pelo consumo de energia elétrica (kWh), como demonstrada na Equação 5.

$$CU = \frac{CA \cdot TC + CERE + TCERE}{CA} \quad (5)$$

Sendo: CU o custo unitário de energia (R\$ kWh⁻¹); CA o consumo de energia elétrica (kWh); TC a tarifa de consumo (R\$ kWh⁻¹); CERE o consumo de energia reativa excedente (kWh); TCERE a tarifa de consumo de energia reativa excedente (R\$ kWh⁻¹).

Isolando-se o consumo de energia elétrica na equação do Fator de Carga determinado por Haddad et al. (2006), tem-se a Equação 6

$$CA = FC \cdot D \cdot h \quad (6)$$

Sendo: CA o consumo de energia elétrica (kWh); FC o fator de carga; D a demanda registrada (kW); h o número de horas no mês, sendo geralmente 66 horas para a ponta e 664 horas para o período fora de ponta.

Substituindo-se a Equação 6 na 5, obtém-se a expressão 7.

$$CU = TC + \frac{CERE \cdot TCERE}{FC \cdot D \cdot h} \quad (7)$$

Sendo: CU o custo Unitário de energia elétrica (R\$ kWh⁻¹); TC a tarifa de consumo (R\$ kWh⁻¹); CERE o consumo de Energia Reativa Excedente (kWh); TCERE a tarifa de consumo de Energia Reativa Excedente (R\$ kWh⁻¹); FC o Fator de Carga; D a demanda registrada (kW); h o número de horas no mês, sendo geralmente 66 horas para a ponta e 664 horas para o período fora da ponta.

Portanto, determinou-se o Custo Unitário realmente pago pelas 11 Unidades de armazenamento de grãos através dos valores de tarifa de consumo, consumo de Energia Reativa Excedente, tarifa reativa excedente, Fator de Carga, demanda e a quantidade de horas do mês nos horários de ponta e fora de ponta, demonstrado nas Equações 8 e 9, respectivamente, para os horários de ponta e fora de ponta.

$$CUP = TCP + \frac{CERE_p \cdot TCERE_p}{FC_p \cdot D_p \cdot 66} \quad (8)$$

$$CUf = TCf + \frac{CERE_f \cdot TCERE_f}{FC_f \cdot D_f \cdot 664} \quad (9)$$

Sendo: CUp o Custo Unitário de energia elétrica na ponta (R\$ kWh⁻¹); CUf o Custo Unitário de energia elétrica fora de ponta (R\$ kWh⁻¹); TCp a tarifa de consumo na ponta (R\$ kWh⁻¹); TCf a tarifa de consumo fora de ponta (R\$ kWh⁻¹); CEREp o consumo de Energia Reativa Excedente na ponta (kWh); CEREf o consumo de Energia Reativa Excedente fora de ponta (kWh); TCEREp a tarifa de consumo de Energia Reativa Excedente na ponta (R\$ kWh⁻¹); TCEREf a tarifa de consumo de Energia Reativa Excedente fora de ponta (R\$ kWh⁻¹); FCp o Fator de Carga na ponta; FCf o Fator de Carga fora de ponta; Dp a demanda registrada na ponta (kW); Df: demanda registrada fora de ponta (kW).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

ANÁLISE DO FATOR DE CARGA

O Fator de Carga médio anual nos horários de ponta e fora de ponta para as 11 unidades de armazenamento de grãos são demonstrados, respectivamente, nos gráficos da Figura 1A e 1B.

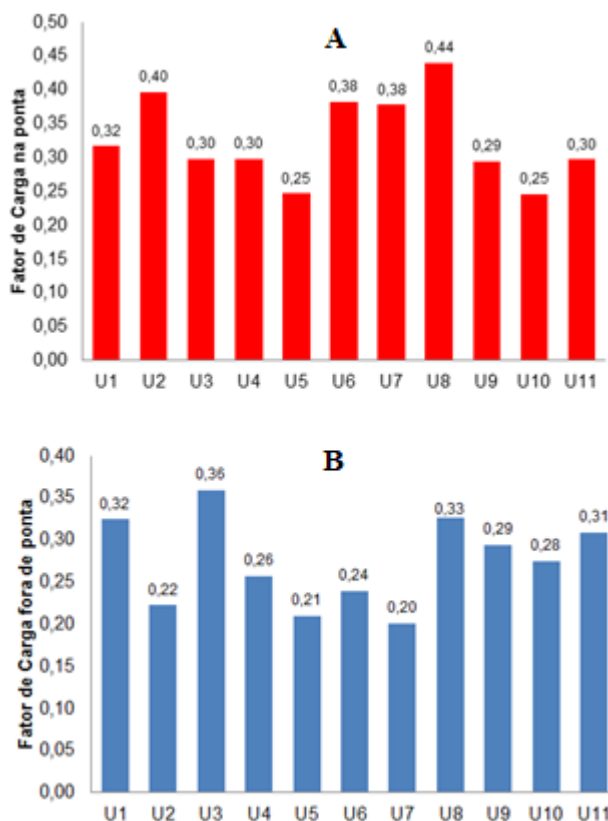


Figura 1. Fator de carga médio anual nos horários de ponta (A) e fora de ponta (B) das unidades de armazenamentos de grãos.

Analisando o gráfico da Figura 1A, observa-se que os valores do Fator de Carga médio na ponta para as 11 unidades de armazenamento de grãos situam-se entre os valores de 0,25 e 0,44. Estes valores estão de acordo com Aneel (2010b), na qual os consumidores que possuem fator de carga menor que 0,66, que utilizam no horário de ponta num curto período o seu sistema, se enquadram na Tarifa Horo-Sazonal Verde, tarifa na qual estão enquadradas as 11 unidades de armazenamento do estudo.

Os baixos valores de fator de carga demonstrados na Figura 1B indicam que houve a concentração de consumo de energia elétrica em curtos períodos de tempo, que, conforme Haddad et al. (2006), ocorrem quando aparelhos, equipamentos, etc. são ligados e utilizados ao mesmo tempo, indicando demandas elevadas.

As unidades de armazenamento de grãos devem procurar distribuir o consumo de energia durante o período de medição, buscando a modulação das cargas ou alternativas para que os motores e equipamentos necessários ao beneficiamento de grãos não sejam ligados todos

ao mesmo tempo. De acordo com Guelfi (2007), a distribuição do consumo e demanda de energia elétrica pode ser feitas de três maneiras: conservando a demanda e aumentando o consumo, mantendo o consumo e reduzindo a demanda, ou aumentando o consumo e diminuindo a demanda.

O fator de carga pode ser melhorado através de uma distribuição do consumo durante todo o período medido, evitando o funcionamento dos motores e equipamentos necessários para o beneficiamento de grãos ao mesmo tempo, o que acarreta em picos de consumo em pequenos intervalos de tempo. Outra opção para se aumentar os valores do fator de carga, já que nem sempre é possível modular as cargas, é através de modificações na demanda, buscando sempre manter o consumo o mais próximo possível da demanda.

Análise dos custos com energia reativa excedente

Os custos com energia reativa excedente anual das 11 unidades de armazenamento de grãos para os horários de ponta e fora de ponta são demonstrados, respectivamente, nos gráficos da Figura 2 A e Figura 2 B. Estes custos ocorrem quando o fator de potência é menor que 0,92, pois, de acordo com Guelfi (2007), isso resulta na diminuição da eficiência energética e da capacidade de distribuição de energia, e sobrecarrega as linhas de transmissão e distribuição.

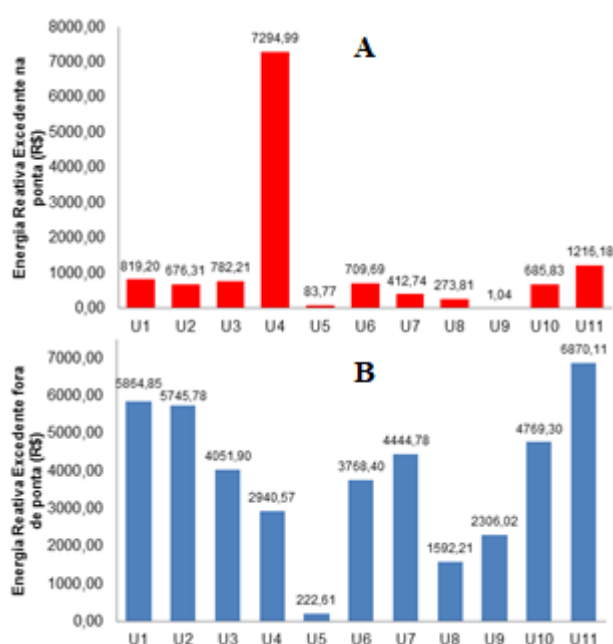


Figura 2 - Valor total anual com energia reativa excedente em R\$ nos horários de ponta (A) e fora de ponta (B) das unidades de armazenamento de grãos.

Observa-se na Figura 2 A e B que as unidades armazenadoras dispõem a maior parte de sua energia reativa excedente fora do horário de ponta. Apesar de ser menos oneroso, há custos que devem ser computados no preço final do produto. Conforme destaca Guelfi (2007), quando o fator de potência é menor que 0,92 resulta na diminuição da eficiência energética e na capacidade de distribuição de energia, sobrecarregando as linhas de transmissão e distribuição.

Na unidade U4, em especial, sugere-se a diminuição do consumo no horário de ponta, bem como a correção do fator de potência, que neste caso poderia ser feita com a instalação de capacitores, conforme indicam Niskier e Macintyre (2011).

Análise dos custos unitários de energia elétrica

Os valores dos custos unitários do kWh, expressos nas contas tarifárias de energia elétrica, e os valores efetivamente pagos por kWh pelas 11 unidades de armazenamento de grãos no ano de 2013, são demonstrados nos gráficos da Figura 3 A e Figura 3 B, respectivamente, para os horários de ponta e fora de ponta.

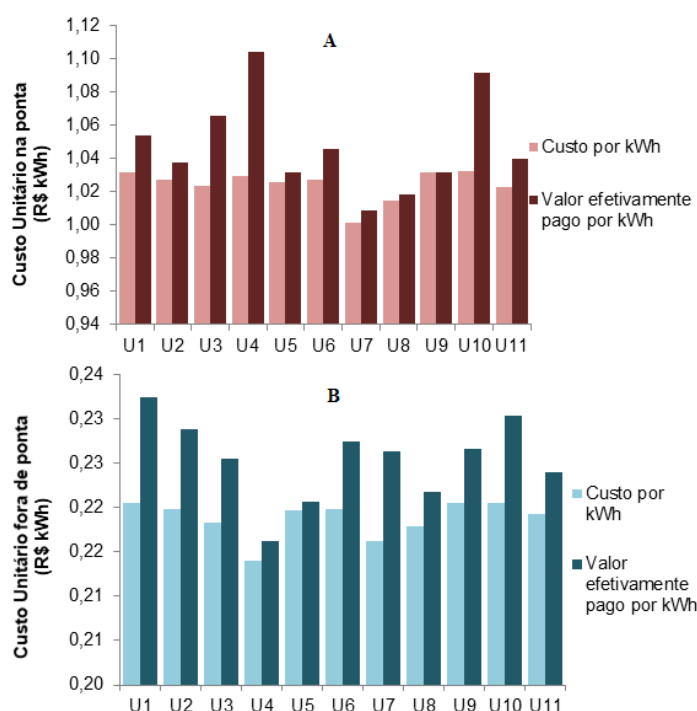


Figura 3. Custo unitário médio anual para o período de ponta (A) e fora de ponta (B) expresso nas tarifas e o valor efetivamente pago por kWh das unidades de armazenamento de grãos.

A Unidade U9, no horário de ponta foi a única em que o custo unitário contido na nota fiscal e o valor efetivamente pago pela unidade de armazenamento de grãos foram próximos (R\$ 1,0313282 e R\$ 1,0313333 respectivamente). Isto se deve ao fato de que nesta unidade a geração de reativos excedentes foi de 29 kVarh. As demais unidades apresentaram valores de custo unitário efetivamente pago maior que os valores de custo unitário contido nas notas fiscais.

Nota-se que o excedente de reativos aumentou significativamente os valores pagos por kWh em todas as unidades de armazenamento de grãos, tanto para os horários de ponta (Figura 3 A), como para os horários fora de ponta (Figura 3 B).

Analisando a demanda contratada e o consumo de energia elétrica em unidades armazenadoras de grãos, David et al. (2016) observaram que é necessário que este tipo de agroindústria reveja mensalmente seu enquadramento tarifário, visto que as unidades armazenadoras de grãos possuem a horo-sazonalidade, possibilitando ajustes mensais nos valores de demanda contratada. Dessa forma, os custos unitários com energia elétrica poderiam ser reduzidos, assim como os custos com a energia reativa excedente.

CONCLUSÕES

As 11 unidades de armazenamento de grãos apresentaram baixos valores de fator de carga (abaixo de 0,45), assim como multas por excesso de reativos, das quais somente uma unidade apresentou valores baixos de reativos excedentes no horário de ponta.

Os baixos valores de fator de carga e as multas por excesso de energia reativa elevaram significativamente o custo unitário do kWh para as unidades analisadas.

O fator de potência pode ser corrigido através da redução de energia reativa, o qual obtém-se com a implementação de banco de capacitores nas unidades analisadas.

REFERÊNCIAS

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA **Resolução Normativa nº 414/10**: condições gerais de fornecimento de energia elétrica de forma atualizada e consolidada. Brasília: ANEEL, 2010a. 196 p.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Estrutura tarifária para o serviço de distribuição de energia elétrica**: modalidades e postos tarifários. Brasília: ANEEL, 2010b. 30.p. (Nota técnica, n. 361).

DAVID, E.; SANTOS, F. C. C.; VIEIRA NETO, J. G.; ESCANO, G. M. G. Demanda contratada e consumo de energia elétrica em unidades armazenadoras de grãos. **Energia na**

Agricultura, v. 31, n. 4, p. 305-311, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17224/EnergAgric.2016v31n4p305-311> Acesso em: 25 de julho de 2017.

ELIAS, M. C. OLIVEIRA, M. VANIER, N. L. **Tecnologias de pré-armazenamento, armazenamento e conservação de grãos**. Capão do Leão, UFPel – Pelotas, Rio Grande do Sul, 102 p., 2017.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E AGROPECUÁRIA. Soja em números (safra 2015/2016). Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos> Acesso em: 25 de maio de 2016.

FRANCHI, C. M. **Acionamentos elétricos**. São Paulo: Editora Érica Ltda, 250 p, 2012.

GUELFÍ, R. **Análise da relação entre o faturamento de consumo de energia elétrica e demanda de potência ativa e reativa utilizando hiperbolóides de carga e potência**. 2007. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica - Automação) - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2007.

HADDAD, J.; GAMA, P. H. R. P.; GUARDIA, E. C. Tarifação de energia elétrica. In: SANTOS, A. H. M. et al. **Conservação de energia: eficiência energética de equipamentos e instalações**. 3. ed. Itajubá: FUPAI, 2006. 596 p.

ICNA. INSTITUTO DA CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. **Relatório de inteligência: capacidade de armazenamento e escoamento na produção agrícola**. Equipe de inteligência competitiva da Knowtec. Brasília: ICNA, 2012. 31 p.

KOLLING, E. M.; TROGELLO, E; MODOLO, A. J. Inconvenientes técnico operacionais de uma unidade beneficiadora e armazenadora de produtos agrícolas. **Reveng**. v. 20, n. 1, p. 52 – 59. Viçosa, 2011. Disponível em: <http://www.seer.ufv.br/seer/index.php/reveng/article/view/292> Acesso em: 20 de agosto de 2015.

NISKIER, J. MACINTYRE, A. J. **Instalações elétricas**. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 452 p.

PANESI, A. R. Q. **Fundamentos de eficiência energética: industrial, comercial e residencial**. São Paulo: Ensino profissional, 2006. 189 p.

PROCEL. PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Programa nacional de conservação de energia elétrica**. Brasília: PROCEL, 2011. 44 p.

PUZZI, D. **Abastecimento e armazenagem de grãos**. 2. ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 2010. 665 p.

VIANA, A. N. C.; BORTONI, E. C.; NOGUEIRA, F. J. H.; HADDAD, J. NOGUEIRA, L. A. H.; VENTURINI, O. J.; YAMACHITA, R. A. **Eficiência energética: fundamentos e aplicações**. 1. ed. Campinas: FUPAI, 2012. 314 p.