



**XXI SNPTTE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0  
23 a 26 de Outubro de 2011  
Florianópolis - SC

**GRUPO - XIV**

**GRUPO DE ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GESTÃO DA TECNOLOGIA- GET**

**ESTUDOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM INSTALAÇÕES USANDO  
MATERIAIS ISOLANTES TÉRMICOS NO NORDESTE DO BRASIL**

**Miguel O B C de Melo(\*)**  
Univ. Federal da Paraíba  
(UFPB)

**Denisabel Lisboa**  
Cia Hidroelétrica do São Francisco  
(CHESF)

**Antonio Souto Coutinho**  
Univ. Federal da Paraíba  
(UFPB)

**Luiz Bueno da Silva**  
Univ. Federal da Paraíba  
(UFPB)

**Normando Barbosa Perazzo**  
Univ. Federal da Paraíba  
(UFPB)

**Vívian A. Lima Sousa**  
Univ. Federal da Paraíba  
(UFPB)

**RESUMO**

Este estudo apresentar uma solução para melhorar a eficiência energética das instalações reduzindo-se a operação dos equipamentos de climatização utilizando materiais isolantes térmicos não convencionais. Concluiu-se que a utilização desses como placas de revestimento aplicados numa instalações de uma subestação de 500kV/230kV/69 kV em áreas do semi-árido do Nordeste do Brasil onde a temperatura média atinge 35°C a 40°C, implicou uma redução de consumo de energia elétrica para racionamento de sistemas de climatização de 38% quando utiliza-se a composição gesso/vermiculita e 41% na composição gesso/EVA, em relação à parede convencional.

**PALAVRAS-CHAVE**

Eficiência Energética, Isolantes Térmicos, Carga Térmica.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

A eficiência energética assume um papel cada vez mais importante no cenário atual e tendo em vista a inserção de programas que buscam a redução de perdas elétricas, o que relaciona a idéia de produzir mais, ou igual, gastando menos, ou seja, tendo como consequência uma otimização dos custos de produção (INEE,2001).

O aumento no consumo de energia elétrica tem exigido uma considerável ampliação na capacidade de geração, com a finalidade de atender a demanda. E uma das funções da eficiência energética é contribuir para que a redução de perdas atue como um fator compensador a ampliação da matriz energética brasileira. Ou seja, o uso racional de energia posterga a necessidade de novas fontes geradoras, o que minimiza a degradação ambiental.

Ressalta-se que o aperfeiçoamento dos materiais, arranjos na fabricação e a inclusão da tecnologia, cada vez mais presentes nos processos industriais, vêm contribuindo para a otimização de sistemas consumidores de energia elétrica, que juntamente com a legislação, caracterizam como mecanismos de implantação de índices mínimos de eficiência energética. O aumento da produtividade nos principais setores industriais está relacionado com o desenvolvimento tecnológico, impulsionado pela crescente inclusão de equipamentos eficientes. A legislação

(\*) Universidade Federal da Paraíba-Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia de Produção, Cidade universitária, João Pessoa PB – Brasil

Tel: (+55 83) 32167685 – Fax: (+55 83) 32167685 – Email: mobcmelo@ct.ufpb.br

brasileira permite instituir níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos fabricados ou comercializados no país (CARDOSO et al., 2010).

O gerenciamento energético em uma indústria não se restringe a preocupar-se apenas a atender a demanda e tomar medidas de eficiência energética; sustenta-se cada vez mais a idéia de se conhecer políticas e regras do complexo mercado de energia, agregando certificados de qualidade e de gestão ambiental e certificação de CO<sub>2</sub> certificates (CULLEN, 2010; SIITONEN et al., 2010).

Atualmente há diversos setores industriais em que já se tem obtido oportunidades de melhoria da eficiência energética em sistemas térmicos, motores eficientes, construções com isolantes térmicos, refrigeração eficiente automatizada, sistemas especialistas de ar comprimido e de água gelada, caldeiras eficientes entre outros (LAURIJSSEN et al., 2010; HASANBEIGI et al., 2010, KIRSCHEN et al., 2009; HAMMOND, 2007).

As edificações em geral são grandes consumidoras de energia. Em regiões de clima quente como o semi-árido do nordeste do Brasil, parte do consumo dessa energia é para o resfriamento e/ou desumidificação artificiais dos ambientes. Porém, a carga térmica de condicionamento de ar pode ser reduzida através da melhoria dos projetos, que devem considerar a velocidade e direção dos ventos, como também a seleção e aplicação dos componentes das envoltórias.

Sendo assim, O objetivo deste artigo é apresentar uma solução para melhorar a eficiência energética das instalações reduzindo-se a operação dos equipamentos de climatização utilizando materiais isolantes térmicos não convencionais. A aplicação é em áreas do semi-árido do Nordeste do Brasil onde a temperatura média atinge 35°C a 40°C, e pesquisou-se a utilização de materiais construtivos não convencionais da própria região.

## 2.0 - EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A eficiência energética tem sua origem desde os primórdios da civilização, quando o homem já utilizava a iluminação natural, controlando a radiação natural e a temperatura em busca de conforto. As pesquisas na área de energia são consideradas estudos interdisciplinares. Por exemplo, as pessoas com uma visão social de eficiência energética considerariam a economia de energia como ganho em eficiência, enquanto aquelas com uma visão mais técnica a classificariam como conservação (INEE, 2001).

Os fatores importantes ou aqueles que apresentam dificuldades na avaliação da eficiência energética em termos econômicos são a consistência dos dados, a clareza na identificação das influências estruturais e comportamentais, as formas de incentivo à participação e da implantação de energia programa de eficiência (PANESI, 2006).

O uso da energia nas sociedades geralmente passa por uma série de etapas de transformação do estágio em que ela é encontrada na natureza (energia primária) até que os serviços de energia que os juros como o movimento, luz ou calor. O combate ao desperdício é uma fonte virtual de produção de energia elétrica. Isto quer dizer que a energia não desperdiçada pode ser utilizada para mover outra carga, sendo, portanto a fonte de produção mais barata e a mais limpa que existe, pois não agride o meio ambiente (GRANDERSON et al. 2010; PÉRES, 2009; REIS, 2006; MAMEDE FILHO, 1988 ).

No Brasil, o cenário da eficiência energética vem sofrendo muitas alterações nos últimos 15 anos. Estas alterações são causadas principalmente pela criação de agências, programas e leis, com o intuito de regulamentar, fiscalizar e estimular a atividade a nível (CARDOSO et al., 2010).

## 3.0 - MATERIAIS CONSTRUTIVOS DE ISOLAMENTOS TÉRMICOS

Segundo Coutinho (2005), materiais que tem grande dificuldade de transmitir calor são conhecidos como isolantes térmicos. E dentre os materiais não convencionais já estudados na literatura o gesso, o resíduo cerâmico, a cal, a vermiculita e o EVA tem baixa capacidade de permitir a condução de calor, podendo ser considerados como isolantes térmicos

### 3.1 Gesso

A gipsita, abundante na natureza e podem ser encontradas diversas jazidas no Brasil, Possui a sua facilidade em absorver água mantém a umidade do ar em áreas fechadas. Apresenta um bom isolamento térmico, modesto isolamento acústico e, devido ao seu baixo peso, confere leveza quando usado na confecção de blocos de cimento.

### 3.2 Resíduo Cerâmico

Foram utilizados resíduos provenientes da indústria cerâmica, da região. Esses resíduos foram gerados na produção blocos cerâmicos. Para utilização como material pozolânico, o resíduo passou por um processo de beneficiamento no qual o material foi primeiramente britado em um aparelho para ensaio de Abrasão de Los Angeles e em seguida foram moídos em um moinho de bolas

### 3.3 Cal

A cal utilizada foi a cal hidratada do tipo CHI, classificada de acordo com a NBR 7175, esta norma prescreve limites para teores de CO<sub>2</sub>, para a cal hidratada armazenada em depósitos (<5%) e (<7%) para cal em obras..

### 3.4 Vermiculita

A vermiculita é um mineral formado essencialmente por silicatos hidratados de alumínio e magnésio já bastante usado na construção civil que, quando expandida, apresenta excelente capacidade de isolamento térmico, não conduz eletricidade e, ainda, se comporta como absorvente acústico. Utilizou-se vermiculita expandida (Figura 1) produzida industrialmente



FIGURA 1–Vermiculita expandida

### 3.5 Etileno-Acetato de Vinila (EVA)

O EVA (ethylene-vinyl acetate copolymer) é um copolímero de etileno-acetato de vinila que apresenta as vantagens do polietileno de baixa densidade (LDPE) acrescida de certa polaridade, conferindo propriedades mecânicas e térmicas variáveis conforme a finalidade. Como está sendo produzido em grande quantidade como resíduo, oriundo de recortes de placas expandidas proveniente da indústria calçadista, e diante de diversos estudos que demonstram sua capacidade de ser transformado em brita leve para ser incorporado e moldado na forma de de placas de gesso (Figura 2).



FIGURA 2 – Resíduo de EVA

A produção de calçados na região do Nordeste do Brasil deu um salto qualitativo muito grande nos últimos dez anos. Calçados fabricados até o ano 2000 usavam solados em PVC e hoje, com novos designers e uma qualidade superior, utilizam poliuretano (PU), copolímero de etileno e acetato de vinila (EVA - ethylene-vinyl acetate copolymer) e borracha de estireno-butadieno (SBR), tornando-se assim mais competitivos no mercado.

Numa indústria de sandálias instalada no estado da Paraíba, por exemplo, a produção média estimada de resíduo polimérico calçadista é de 200 toneladas/mês. Considerando o alto volume gerado em virtude da sua baixa massa unitária, que o mesmo não é biodegradável, armazenar esse resíduo calçadista torna-se um desafio (BEZERRA, 2002).

Uma aplicação dos resíduos de EVA é como agregado, tanto para a produção de argamassas, elementos isolantes térmicos, quanto concreto. O agregado tem uma função econômica da máxima importância, pois geralmente é o elemento de custo mais baixo por unidade de volume no concreto. Atua de maneira decisiva no incremento de certas propriedades, tais como, a redução da retração e o aumento da resistência ao desgaste (MACAMBIRA, 2001).

#### 4.0 - CARGA TÉRMICA

A carga térmica de um ambiente é composta de duas partes: uma externa e outra interna. A primeira é a quantidade de calor transmitida do exterior para o interior através das paredes, janelas, portas e teto, em decorrência da diferença de temperatura e da radiação solar. A segunda é gerada no ambiente por pessoas, iluminação e equipamentos diversos (ÇENGEL 2005).

A carga térmica de qualquer ambiente, pode ser reduzida, aumentando a resistência térmica da envoltória. Isto é possível aplicando revestimentos que tenham baixa condutividade térmica. Essa propriedade, bem como outras, como calor específico, densidade e difusividade térmica dos materiais convencionais e não convencionais, como os que estão sendo desenvolvidos a partir da reciclagem de materiais, devem ser comparadas para chegar-se à melhor relação custo-benefício.

Este trabalho abordará a carga externa através das paredes, a qual se compõe de um processo de convecção do ar exterior para a superfície externa; por condução através da parede, e novamente por convecção da superfície interna para o interior do ambiente.

O seu cálculo, levando em conta a radiação solar, pode ser feito pela equação 1:

$$Q = A U (t_2 - t_1 + \Delta t) \quad (1)$$

Sendo:

Q – Carga Térmica (W/m<sup>2</sup>);

A - Área da parede (m<sup>2</sup>);

U - Coeficiente global de transmissão de calor (W/m<sup>2</sup>°C);

t<sub>1</sub> - Temperatura interna (°C);

t<sub>2</sub> - Temperatura externa (°C);

Δt – acréscimo à diferença entre as temperaturas do ar externo e interno, devido à absorção de radiação solar, em função da cor e do acabamento superficial (°C).

Convém informar que os cálculos mais exatos de carga térmica exigem dados climáticos obtidos durante um ciclo estatisticamente representativo. Na ausência desses dados, podem-se adotar planilhas ou adotar valores de regiões próximas e de clima semelhante. Disso pode resultar uma carga superdimensionada, porém com temperatura interna mantida no nível desejado, através de controles manuais ou automaticamente.

##### 4.1-Coeficiente Global

O coeficiente global de transmissão de calor envolve os processos de convecção e condução, conforme a equação (2) referente a uma parede ou telhado simples, ou seja, sem reboco ou isolamento térmico.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{hc_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\Delta x_i}{k_i} + \frac{1}{hc_2}} \quad (2)$$

Sendo:

hc<sub>1</sub> - coeficientes de convecção do ar interno (W/m<sup>2</sup>°C);

hc<sub>2</sub> - coeficientes de convecção do ar externo (W/m<sup>2</sup>°C);

$\Delta x_p$  - espessura da parede ou teto (m);  
 K - Coeficiente de condutividade térmica do material (W/m°C).

## 5.0 - MÉTODOS E MODELOS

### 5.1 Tipo de Estudo

O método de pesquisa utilizado é um estudo de caso experimental, pois focaliza a situação termo ambiental numa subestação elétrica específica no nordeste do Brasil, na região semi-árida. sua finalidade é avaliar o comportamento térmico em relação à carga térmica de materiais não convencionais em revestimento interno de paredes, fazendo um comparativo de desempenho com os materiais convencionais usados nessa subestação em estudo.

As subestações nas quais os operadores trabalham, foram construídas com base em padrões existentes na época. Para melhorar as condições térmicas no ambiente de trabalho nas regiões do semi-árido, é necessária a utilização de refrigeração artificial, ocasionando um consumo de energia proporcional à carga térmica do ambiente, implicando custos que podem ser minimizados.

### 5.2- Coleta e Tratamento dos Dados

Para realização dessa pesquisa, foi feita uma coleta de dados no campo em uma subestação elétrica. Foram feitas uma análise termo ambiental e levantamento dos materiais de construção utilizados nas edificações, identificando-se quais os locais que seriam estudados para uma futura implantação das paredes desenvolvidas.

Foi observado que algumas das construções têm o mesmo padrão, sendo as paredes planas composta simples de tijolos de 8 furos e argamassa de revestimento com 2,5 cm de espessura. Desconsiderou-se o material do telhado, pois o objetivo dessa pesquisa é analisar e comparar a carga térmica através das paredes convencionais e com as mesmas paredes, porém revestidas com as placas propostas.

Com o levantamento dos materiais de construção utilizados nas edificações, foram identificados os locais estudados para a implantação dos produtos desenvolvidos. Determinou-se que seriam analisadas teoricamente a aplicação destes materiais nas: Cabanas de relés de 69kV, 230kV e de 500kV, mantendo temperaturas internas de 23°C e nas salas de comando, de baterias e casas de serviços auxiliares, mantendo temperaturas internas de 25°C de acordo com a NBR 6401. A temperatura externa média conforme o INMET para a região é de 34°C

### 5.3- Determinação do Isolamento Térmico

Determinou-se, que seriam usadas placas para o revestimento interno das paredes. As placas proposta por Oliveira (2009) eram compostas de compósitos com uma matriz à base de gesso, resíduo cerâmico moído e cal com incorporação de vermiculita ou de resíduo de EVA. Foi proposto um modelo de placa quadrada com 40 cm de lado, conforme a Figura 3. Essa placa tem saliências nos vértices tipo macho e fêmea, em cada canto com 10,0 cm x 10,0 cm e 3,0 cm de espessura, para permitir a aplicação da placa na parede original. O restante da placa tem espessura de 1,5 cm, implicando um baixo relevo que, após a aplicação, forma uma camada de ar com 1,5 cm de espessura entre o fundo da referida placa e a parede na qual é fixada.



FIGURA 3 - Modelo da placa proposta

### 5.4 Carga Térmica das Edificações

Foi determinada a carga térmica das edificações com as paredes convencionais sem o revestimento do isolamento térmico, e depois calculada a carga térmica das edificações com os isolantes térmicos proposto. Através da equação 1 e 2, citadas anteriormente, levando-se em consideração as trocas de calor por condução, convecção e radiação.

### 6.0 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

O cálculo da carga térmica se baseia nos princípios da transmissão de calor. O ganho de calor através das superfícies opacas externas é função da intensidade de radiação solar, da cor da superfície, das temperaturas externa e interna, da área e dos parâmetros que regem os processos globais de convecção e condução. Fazendo análise de todas as paredes das salas em estudo da subestação elétrica, e considerando a carga térmica para uma unidade de área, obtemos os resultados apresentados na Tabelas 1.

Tabela 1 – Carga Térmica das Edificações

EDIFICAÇÕES	Q( W/m <sup>2</sup> )		
	Parede Convencional	Parede Convencional +PR1	Parede Convencional+ PR2
Sala de comando	24,13	14,91	14,36
Cabana de réles 69kv	28,33	17,31	16,68
Cabana de réles 230 kv	28,33	17,31	16,68
Cabana de réles 500 kv	28,33	17,31	16,68
Sala de baterias	24,13	14,91	14,36
Casa de serviços auxiliares	24,13	14,91	14,36

PC=Parede convencional

PR1=Parede revestida com placas de gesso/vermiculita

PR2=Parede revestida com placas de gesso/EVA

### 7.0 - CONCLUSÃO

A aplicação desses materiais não convencionais como isolantes térmicos em placas de revestimento com formação de camada de ar implicou uma redução na Carga Térmica por metro quadrado de 38% na composição gesso/vermiculita e 41% na composição gesso/EVA, em relação à parede convencional. Isso implica em uma redução de energia elétrica para racionamento de sistemas de climatização naqueles percentuais anteriormente referidos.

### 8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. Cal hidratada para argamassas. NBR 7175. Rio de Janeiro, 1992.
- (2) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. Instalações centrais de ar-condicionado para conforto - Parâmetros básicos de projeto. NBR 6401. Rio de Janeiro.1980.
- (3) BEZERRA, A. J.V. Utilização do Resíduo da Indústria de Calçados (EVA – Etileno Acetato de Vinila) como Agregado Leve na Produção de Blocos Vazados de Concreto para Alvenaria sem Função Estrutural. Dissertação de Mestrado, UFPB/CCT, João Pessoa, 2002.
- (4) CARDOSO, R.; NOGUEIRA, L.; HADDAD, Jamil. Economic feasibility for acquisition of efficient refrigerators in Brazil, *Applied Energy*, v. 87, January 2010, pages 28–37.
- (5) ÇENGEL, YUNUS A. "Heat Transfer: A Practical Approach" Editora McGraw-Hill, 2003
- (6) COUTINHO, Antonio Souto. Conforto e Insalubridade Térmica em Ambiente de Trabalho. 2a Edição - João Pessoa: Editora Universitária. 2005.
- (7) CULLEN, Jonathan M.; ALLWOOD, Julian M. Theoretical efficiency limits for energy conversion devices, *Energy Review*, Volume 35, Issue 5, May 2010, Pages 2059-2069.
- (8) GRANDERSON Jessica; PIETTE, Mary Ann; GHATIKAR Girish. Building energy information systems: user case studies, *Energy Efficiency Review*, 2010.doi 10.1007/s12053-010-9084-4.

- (9) HAMMOND, Geoffrey P. Industrial energy analysis, thermodynamics and sustainability Applied Energy, Volume 84, Issues 7-8, July-August 2007, Pages 675-700.
- (10) HASANBEIGI, Ali; PRICE, Lynn; LU, Hongyou; LAN, Wang. Analysis of energy-efficiency opportunities for the cement industry in Shandong Province, China: A case study of 16 cement plants, Energy Review. Volume 35, Issue 8, August 2010, Pages 3461-3473.
- (11) INEE, Instituto Nacional de Eficiência Energética. *A Eficiência Energética e o Novo Modelo do Setor Energético*, Rio de Janeiro, 2001.
- (12) INMET- Instituto Nacional de Meteorologia- Disponível em <http://www.inmet.gov.br/>. Acessado em outubro/2010.
- (13) KIRSCHEN, Marcus; RISONARTA, Victor; PFEIFER, Herbert. Energy efficiency and the influence of gas burners to the energy related carbon dioxide emissions of electric arc furnaces in steel industry. Energy Review. Volume 34, September 2009, Pages 1065-1072.
- (14) LAURIJSEN, Jobien; DE GRAM, Frans J.; WORRELL, Ernst; Faaij Andre. Optimizing the energy efficiency of conventional multi-cylinder dryers in the paper industry. Energy Review Volume 35, Issue 9, 2010, Pages 3738-3750.
- (15) MAMEDE FILHO, João. Economia de energia elétrica na indústria e comércio. Revista Mundo Elétrico, São Paulo, n. 344, jun. 1988, Pages. 51-55.
- (16) OLIVEIRA, Marília Pereira de. Materiais compósitos à base de gesso contendo EVA (etileno acetato de vinila) e vermiculita: otimização de misturas e propriedades termomecânicas. Tese de Doutorado. UFPB/PPGEM. João Pessoa. 2009.
- (17) PANESI, Andre Q. Fundamentos da Eficiência Energética, São Paulo: Ensino Profissional, 2006.
- (18) PÉRES, A.; DESCHAMPS, E.; SILVA, C.R.C. da. Eficiência Energética na Indústria. In: VIII CBQEE – Conferência Brasileira sobre Qualidade de Energia Elétrica, Blumenau-SC, 2009.
- (19) REIS, Lineu Belico dos; CUNHA, Eldis Camargo Neves. Energia Elétrica e Sustentabilidade: aspectos tecnológicos socioambientais e legais. Barueri, SP: Manole, 2006.
- (20) SIITONEN, Sari; TUOMAALA, Mari; SUOMINEN, Markku; AHTILA, Pekka. Implications of process energy efficiency improvements for primary energy consumption and CO2 emissions at the national level. Applied Energy, Volume 87, Issue 9, September 2010, Pages 2928-2937.

#### 9.0 - DADOS BIOGRÁFICOS DO AUTOR PARA CONTATO



Miguel Otávio Barreto Campelo de Melo, nasceu em Recife-PE em 1953. Possui doutorado em Engenharia de Produção (2006) pela UFPB, mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Pernambuco (1997) e graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Pernambuco (1976). Engenheiro da CHESF 1976-2003 na área de Estudos de Sistemas de Transmissão. Atualmente é pesquisador e professor colaborador da Universidade Federal da Paraíba. É um dos líderes do Grupo de Pesquisa Energia e Produção da UFPB. É revisor dos periódicos: International Journal on Production Research (UK), Produção On Line e Produto&Produção. Possui diversos artigos publicados no exterior e Brasil nas áreas de Energia e Gestão da Produção. Atua principalmente nos seguintes temas: Sistemas de Produção, Eficiência Energética na Indústria, Ergonomia no Setor de Energia, Qualidade de Energia Elétrica, Energia e Produção.