APLICAÇÕES DE ARMAZENADORES DE ENERGIA EM SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA: A NECESSIDADE DE INSERÇÃO EM CURRÍCULOS DE ENSINO EM ENGENHARIA E ESTUDO DE CASO PARA SMES

Ana Luiza Ferreira Ferraz – analuizaferraz.encaut@gmail.com
Marlon Jose do Carmo – marloncarmo@ieee.org
Ângelo Rocha Oliveira – a.oliveira@ieee.org
Lindolpho de Oliveira Araújo Júnior – lindolpho@leopoldina.cefetmg.br
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
Rua José Peres, 558 Centro
36700-000 – Leopoldina – Minas Gerais

Resumo: *Novas descobertas despertam interesse tanto pelo potencial tecnológico, como pela contribuição que essa tecnologia pode trazer. Exemplo disto são os armazenadores supercondutores de energia (SMES), do inglês, Superconducting Magnetic Energy Storage. Esse sistema, capaz de armazenar grandes quantidades de eletricidade, é altamente confiável e tem sido alvo de muitas pesquisas. No entanto é importante que os cursos de Engenharia acompanhem o desenvolvimento dessa nova tecnologia e se adapte a essa nova realidade, inserindo em sua estrutura curricular o ensino dessa nova revolução tecnológica.*

Palavras-chave: *Armazenadores Supercondutores de Energia, SMES, Sistema Elétrico de Potencia, Estrutura Curricular.*

1. INTRODUÇÃO

No início do século XX primórdios de uma nova tecnologia começaram a aparecer, foi quando pesquisadores começaram a descobrir o fenômeno da supercondutividade, que hoje é base de estudos nas mais variadas áreas como: armazenamento, distribuição e transmissão de energia elétrica, transporte, biomedicina, etc.

A utilização de energia elétrica vem aumentando a cada ano em todos os setores da atividade humana. Com o aumento do consumo de energia elétrica, devido principalmente ao consumo acelerado, os sistemas elétricos de potências cresceram, com isso, distúrbios vêm ocorrendo com bastante frequência (Lamas, 2009).

Para a proteção dos sistemas elétricos, são utilizados alguns equipamentos (fusíveis, chaves seccionadoras e limitadores de corrente) com o objetivo de perceber o aumento da corrente e conduzir o desligamento dos circuitos para isolar a área onde ocorreu o problema e religar o restante da rede. No entanto, as limitações impostas pelo próprio ambiente e também os elevados custos de energia gerou uma estabilidade reduzida aos sistemas elétricos, dessa

forma, os sistemas dependem de dispositivos para manter a operação confiável e estabilizada e fornecer amortecimento suficiente no sistema no caso de falhas (Lamas, 2009).

O SMES é uma bobina supercondutora capaz de armazenar energia elétrica no campo magnético gerado pela corrente que flui através dele. De acordo com pesquisas realizadas para o desenvolvimento deste trabalho, o armazenamento de energia é uma forma de tornar a utilização de energia mais eficiente, e os sistemas SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage) apresentam-se como um dos mais hábeis e promissores sistemas, capazes de nivelar e estabilizar cargas (Nomura et al , 2005). Esse sistema tem uma das formas mais eficientes para falhas momentâneas, apresentando também um rendimento de 90% já considerando a perda do sistema de refrigeração (Buckles; Hassenzahl, 2000). O fator crucial da atualidade é ter energia elétrica de forma eficiente e com qualidade.

O Brasil, através da Lei nº 9394, de 20 de dezembro de 1996, conferiu autonomia de decisões às Instituições de Ensino Superior de forma a rever e fixar currículos compatíveis com as necessidades de nossa sociedade (BECK, 2000). Uma vez que os SMES estão tendo cada vez mais visibilidade e aplicação, os currículos dos cursos de engenharia precisam ser atualizados, para que os alunos tenham uma formação condizente às necessidades do mercado atual. Este trabalho irá discutir questões em relação ao ensino de SMES no Brasil e analisar as grades curriculares das instituições públicas que possuem cursos de Engenharia de Controle e Automação, Engenharia Elétrica e Engenharia Eletrônica, fazendo um levantamento dos cursos que oferecem esta disciplina.

2. A SUPERCONDUTIVIDADE E A APLICAÇÃO DE SMES EM SISTEMAS ELETRICOS DE POTÊNCIA

2.1. A supercondutividade

O fenômeno da supercondutividade (isto é, ausência de resistência de materiais supercondutores abaixo temperaturas criticas) foi descoberto em 1911 por Kammerlingh Onnes, em Leiden, Holanda. Apesar disto, foi apenas nos anos 1970 que o SMES foi proposto como uma tecnologia em sistemas de potência.

2.2. O que é um SMES?

Os sistemas de energia têm sofrido algumas mudanças no que diz respeito à geração de energia elétrica, instalação de distribuição e transmissão, e usuário final. O aumento do consumo de energia é superior à transferência de potência em uma rede interligada, podendo fazer com que o sistema de energia seja menos seguro e mais complexo. Além disso, há outros fatores (técnicos, econômicos, ambientais e restrições governamentais) que limitam o planejamento e operação do sistema. Paralelamente, aplicações de qualidade de energia têm exigido tecnologias de compensação adicionais para gerenciar cargas cada vez mais sensíveis.

Os armazenadores supercondutores de energia magnética, SMES, são dispositivos de armazenamento de energia elétrica em corrente contínua (DC), que excita um campo magnético, acoplado ao circuito converte corrente alternada de um sistema em corrente contínua, que flui no supercondutor e armazena energia sob a forma de campo magnético, estes dispositivos são capazes de reduzir oscilações determinando limites de estabilidade e garantindo qualidade de energia (Nomura et al , 2005).

2.3. Aplicação de SMES em sistemas de potência

A aplicação do SMES em sistemas de energia foi proposta pela primeira vez em 1969 (Torres; Eckroad, 2001). Primeiramente, a ideia era armazenar o excesso de energia em um supercondutor durante o período de menor consumo de energia e devolvê-la ao sistema de alimentação (AC), durante o período de problemas no sistema elétrico. Posteriormente, muitas ideias surgiram para aplicação dos SMES.

O SMES tem algumas características que são muito funcionais para a transmissão e sistema de distribuição de energia. Essa tecnologia é extremamente eficiente, isto porque ela não necessita de conversão de energia de uma forma para a outra. Dependendo das características do SMES (malha de controle, conversores, e características de comutação), esse sistema pode responder muito rapidamente. Eles podem fazer mudanças de megawatts de energia em milissegundos.

Uma das maiores limitações das pesquisas tecnológicas é o armazenamento de energia. Para que se aproveite, plenamente, um determinado tipo de energia, o sistema de armazenamento deve ser econômico e seguro. Por consequência de sua eficiência, rapidez de resposta, e também por serem muito confiável (não tem partes móveis) e ambientalmente benignos, os armazenadores supercondutores de energia vem recebendo uma grande atenção das empresas de energia elétrica. Os SMES são promissores para resolver estes problemas de armazenamento de energia. A tecnologia deste dispositivo é baseada na habilidade dos supercondutores de transportar elevadas correntes DC (corrente contínua), com perdas resistivas próximas de zero, na presença de significativos campos magnéticos, não armazenando diretamente a energia elétrica, conforme "Figura 1".

Um sistema de SMES consiste de uma bobina supercondutora, um sistema criogênico, e uma conversão de energia ou sistema de condicionamento com funções de controle e proteção (Steurer et alli, 2003). A bobina supercondutora atua armazenando energia no campo magnético gerado pela circulação de corrente. Sendo a bobina um indutor L, a energia armazenada E é proporcional ao quadrado da corrente I que circula na bobina, conforme Equação (1).

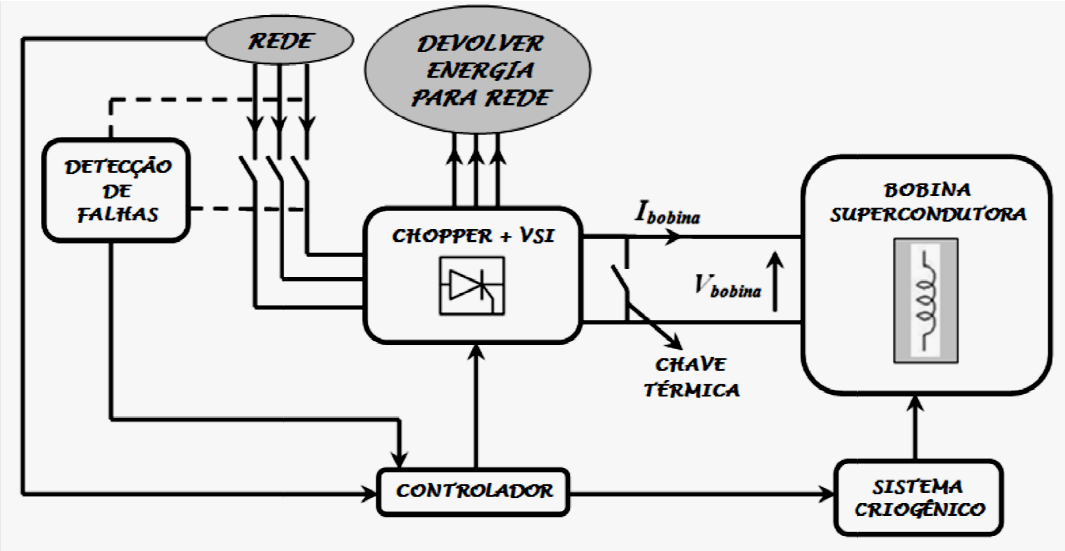

Figura 1 – Sistema SMES

$$E = \frac{1}{2}LI^2 \quad (1)$$

Comparado a outras tecnologias de armazenamento, a tecnologia de SMES é vantajosa em dois tipos de aplicação:

1) O poder de controle de sistema de transmissão e de estabilização; e

2) A qualidade da energia. Embora os sistemas SMES não podem, atualmente, serem rentáveis, eles são atraentes devido ao fato de terem custos positivos e baixos impactos ambientais.

Além das características dos SMES e benefícios, os avanços nos supercondutores e tecnologias de eletrônica de potência fará com que o uso dos SMES sejam mais desejáveis para aplicações de serviços públicos de energia.

3. INSERÇÃO DE SMES EM CURRICULOS DE ENSINO EM ENGENHARIA

Como pode ser observado, o mercado tem sofrido muitas alterações. A motivação do estudo realizado deve-se à importância que a tecnologia SMES tem recebido, tanto na área acadêmica quanto comercial, demonstrando assim, que essa disciplina deve ser explorada de forma abrangente nas demais áreas da engenharia. O futuro engenheiro precisa construir uma sólida base, que deve ser consolidada no período da graduação, quando se deve aprender a aprender e sempre, continuar aprendendo (TOLEDO, 2006).

O estudante de engenharia deve ser preparado para aprender de forma autônoma e para ter uma visão da realidade. De acordo com o Art. 3° da Resolução CNE / CES 11/2002, publicada em nove de abril de 2002, que trata das Diretrizes Curriculares para os cursos de Engenharia "O Curso de Graduação em Engenharia tem como perfil do formando egresso/profissional o engenheiro, com formação generalista, humanista, crítica e reflexiva, capacitado a absorver e desenvolver novas tecnologias, estimulando a sua atuação crítica e criativa na identificação e resolução de problemas, considerando seus aspectos políticos, econômicos, sociais, ambientais e culturais, com visão ética e humanística, em atendimento às demandas da sociedade".

Devido ao dinamismo da sociedade (que acompanha as mudanças tecnológicas) os currículos devem ser flexíveis, adequando-se as necessidades da sociedade. Uma das formas de se atingir essa flexibilidade é inserir disciplinas optativas nos currículos dos cursos de graduação e pós – graduação em Engenharia.

3.1. Análise dos cursos de graduação em Engenharia na rede pública

Tomando como base da pesquisa as instituições com cursos de Engenharias de Controle e Automação, Engenharia Elétrica e Engenharia Eletrônica (aprovados pelo MEC), realizou-se uma busca pelas ementas dos cursos. A "Tabela 1" mostra a relação da oferta desses cursos por região do país.

Tabela 1 – Número de cursos de Engenharia de Controle e Automação, Engenharia Elétrica e Engenharia Eletrônica ofertada por região do país.

Região do País	Cursos de Engenharia (analisados) por região
Norte	14
Nordeste	24
Sul	29
Sudeste	53
Centro-Oeste	4

O total de cursos de Engenharia (Controle e Automação, Elétrica, Eletrônica) ofertados no país pela rede pública com aprovação pelo MEC são 124 cursos.

A procura das informações necessárias nos sites das universidades foi dificultada pela falta de disponibilidade de informações sobre seus cursos. Diversas instituições não disponibilizam seus projetos políticos pedagógicos (PPP). Com base nisso, a primeira análise da pesquisa mostra a porcentagem de instituições que disponibilizam seus PPP, conforme "Figura 2".

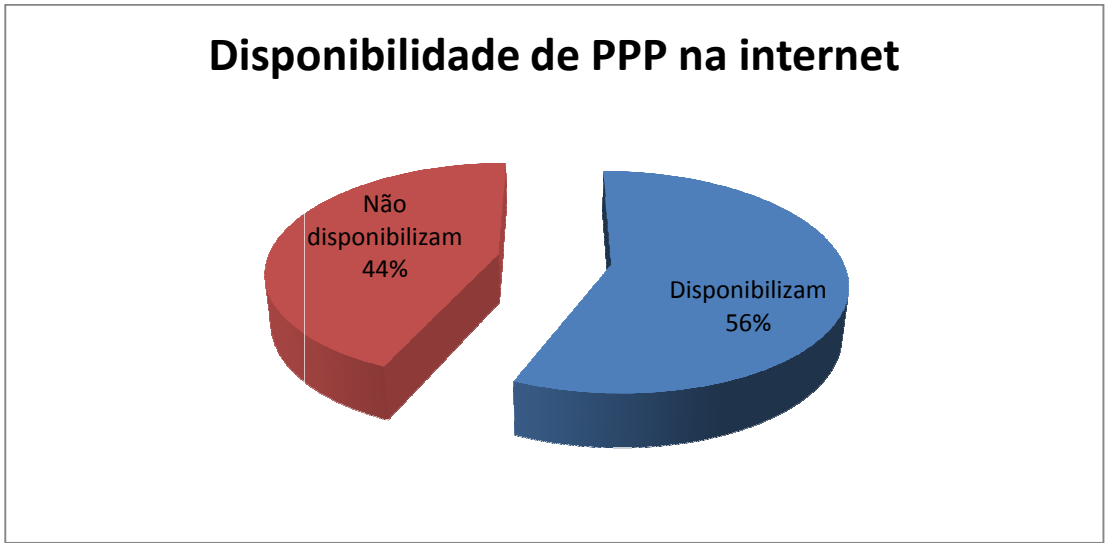

Figura 2 – Disponibilidade de Projetos Político Pedagógicos das instituições pesquisadas na internet.

Outra dificuldade encontrada foi devido à falta de padronização entre as instituições. A "múltipla nomenclatura" gera muitas dificuldades para relacionar os conteúdos das variadas instituições. Devido a esses problemas, a "Figura 3" mostra a porcentagem de instituições que tiveram suas ementas investigadas no país, por região.

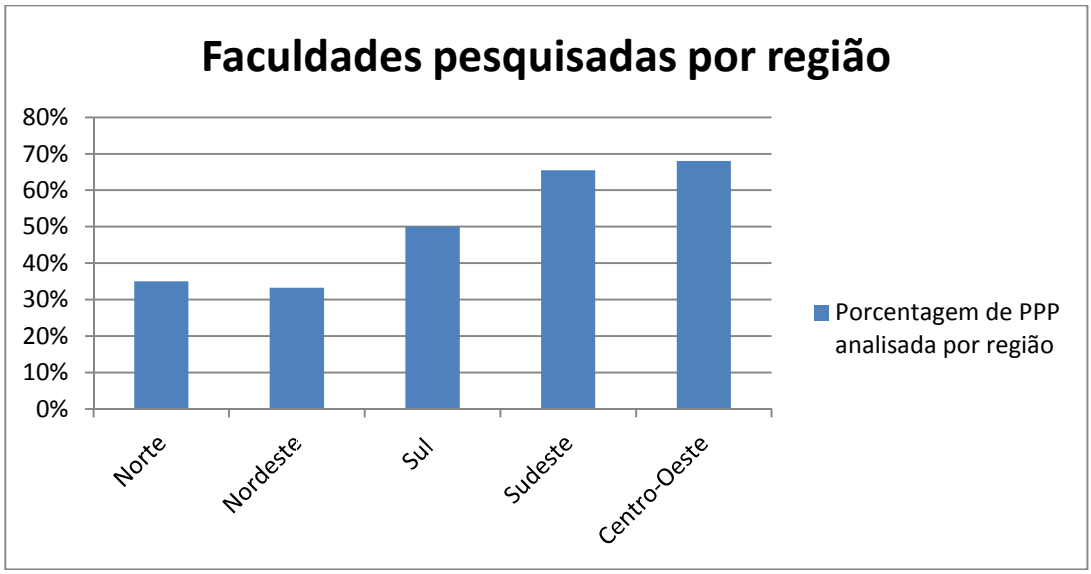

Figura 3 – Porcentagem de faculdades pesquisadas por região do país.

Como se pode observar através da pesquisa realizada e dos gráficos apresentados, as regiões Norte e Nordeste tiveram uma menor quantidade de cursos analisados devido a grande dificuldade em se obter a ementa dos cursos nos sítios das universidades. As instituições foram analisadas por região para obter um melhor resultado dos dados, mostrando a real situação do ensino de SMES nas universidades do Brasil.

3.2. Ensino de SMES na graduação nas instituições pesquisadas.

Definindo os dados encontrados nas pesquisas em forma de gráficos estatísticos, é possível observar o desequilíbrio no ensino desta disciplina. A "Figura 4" mostra a presença do ensino de SMES nas instituições pesquisadas.

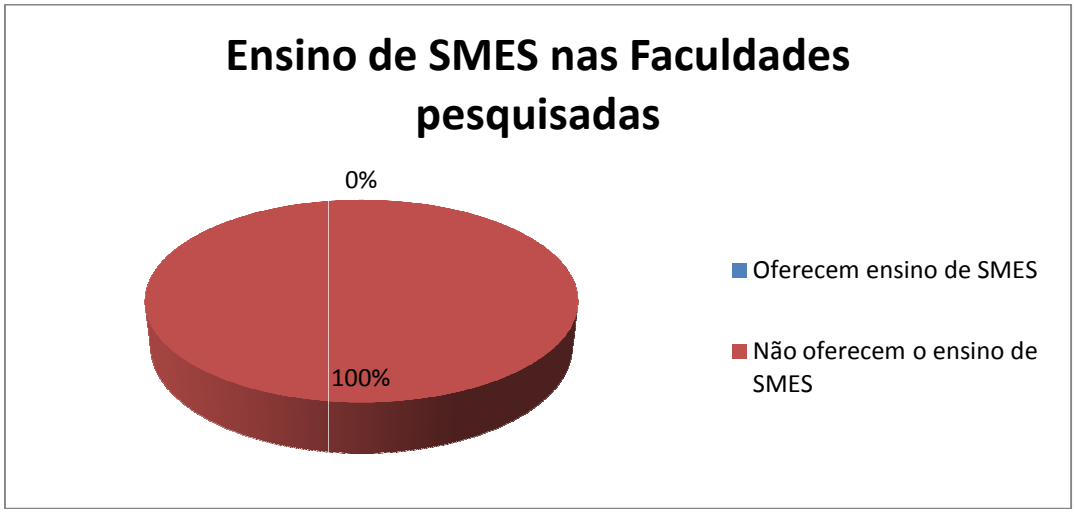

Figura 4 – Porcentagem de cursos pesquisados que oferecem o ensino de SMES.

A partir do gráfico observa-se que nenhum dos cursos pesquisados oferece o ensino de SMES aos seus discentes. Em todos os casos analisados, os alunos não tem nenhum contato com essa nova tecnologia. Por ser um dispositivo eficaz e de crescente mercado, é importante que os alunos tenham contato com essa nova tecnologia. Na situação atual, ou seja, nenhuma instituição oferta essa disciplina, o aluno insere-se num panorama que não condiz com a realidade do desenvolvimento no país.

Grande parte dos futuros engenheiros podem conviver com essa nova tecnologia, seja na sequencia de seus estudos (com, por exemplo, na pós – graduação), ou até mesmo no emprego ou em projetos de pesquisa. Por esse motivo, a importância da iniciação desse aprendizado na graduação. Deve-se considerar que em alguns casos, a aquisição de materiais e montagem de laboratórios para ensino de SMES é inviável para as instituições.

3.3. Análise dos cursos de pós - graduação em Engenharia na rede pública.

Para análise do ensino de SMES na pós – graduação foi pesquisada todas as universidades públicas do país. Com isso, foi feito um levantamento das instituições que oferecem pós – graduação em Engenharia Elétrica, Engenharia Eletrônica e Engenharia de Controle e Automação. A “Tabela 2” mostra o numero de instituições por estado que oferecem esses cursos. Algumas instituições não foram analisadas devido a dificuldades na busca de informações em seus sites.

Região	Número de cursos de pós - graduação
Norte	3
Nordeste	3
Sul	8
Sudeste	13
Centro – Oeste	1

Tabela 2 – Número de cursos de pós – graduação ofertadas por região do país.

Assim como foi feito com a pesquisa do ensino de SMES na graduação, foi analisada a ementa dos cursos de pós – graduação. A procura das informações necessárias nos sites dos cursos foi dificultada pela falta de disponibilidade de informações sobre seus cursos e em alguns casos, problemas no acesso aos sítios dos mesmos. A porcentagem de instituições que disponibilizam as ementas de seus cursos de pós – graduação é apresentada na “Figura 5”.

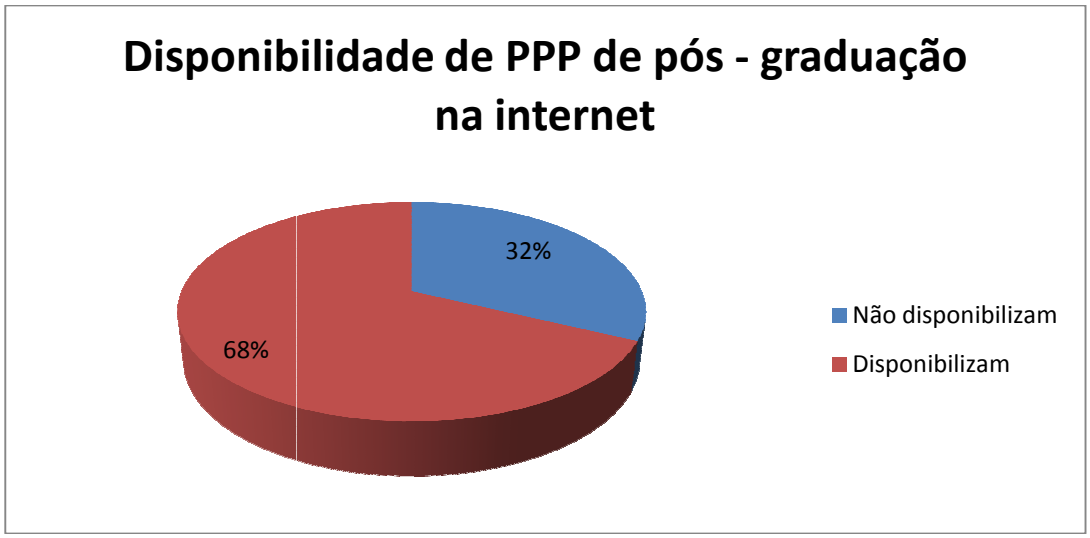

Figura 5 – Instituições que disponibilizam sua matriz curricular.

A "Figura 6" mostra o número de instituições que oferecem pós – graduação em um dos ramos da engenharia que tiveram suas ementas analisadas por região.

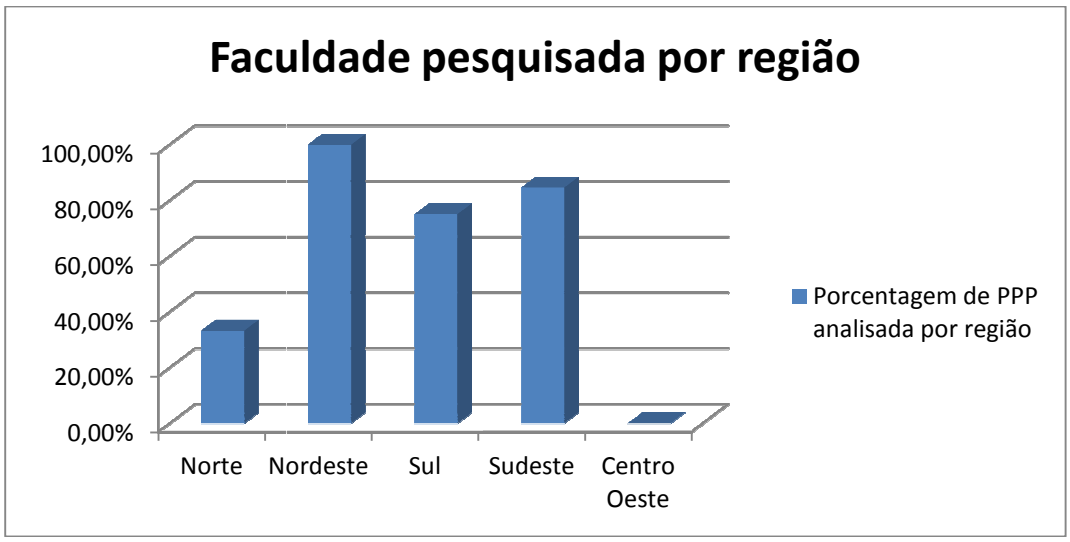

Figura 6 - Porcentagem de faculdades pesquisadas por região do país.

Verifica-se que as instituições do centro - oeste não foram analisadas devido à grande dificuldade em se acessar as ementas de seus cursos.

3.4. Ensino de SMES na pós - graduação.

Para cada curso de pós – graduação em engenharia (elétrica, eletrônica, controle e automação), foi feito a análise de sua matriz curricular. Os resultados obtidos são apresentados na "Figura 7".

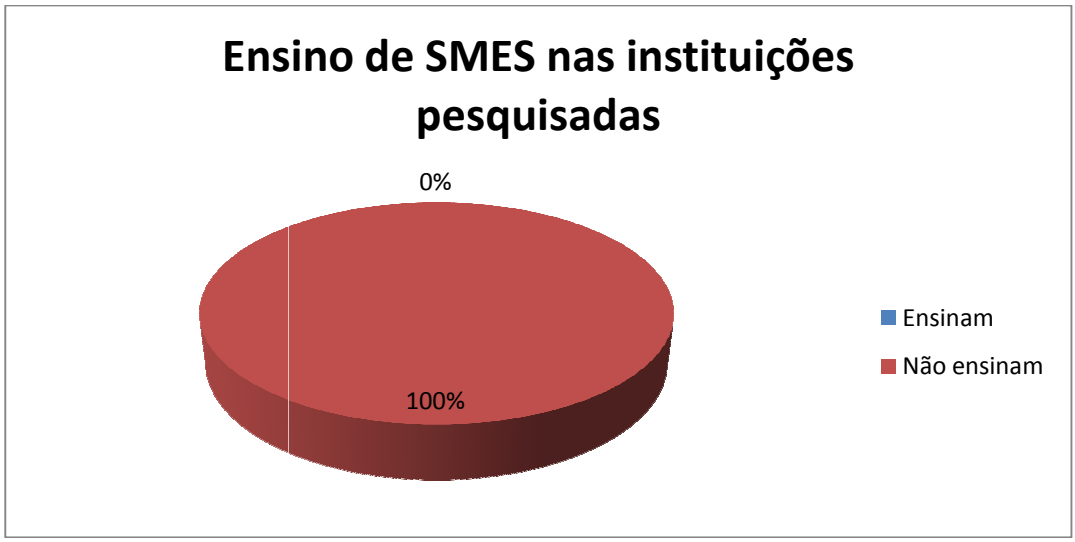

Figura 7 - Porcentagem de cursos pesquisados que oferecem o ensino de SMES.

O resultado obtido na pesquisa do ensino de SMES na pós – graduação indefere do obtido na análise dos cursos de graduação: nenhuma instituição analisada oferece o ensino dessa nova tecnologia aos seus discentes.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este presente trabalho mostra que a estrutura curricular e a infraestrutura das instituições do país são muito similares no que se refere ao ensino. A análise extraída mostra a condição do ensino de SMES em instituições públicas no Brasil, confirmando a necessidade de um ensino projetado para o preenchimento desta lacuna na graduação e pós – graduação.

O ensino de SMES, seja na graduação ou pós – graduação, não deve ser abandonado, pois são de extrema necessidade para uma formação ampla em sistemas de potência, uma vez que esse dispositivo torna a utilização de energia mais eficiente. O crescimento do novo negócio é visto nas áreas de aplicações de energia, transformação industrial e comunicações (Mikkonen, 2002). Isso leva a concluir que a procura por essa nova tecnologia será cada vez maior.

A educação em engenharia deve ser encarada de modo a introduzir elementos eficazes na formação dos estudantes, garantindo assim, um aprendizado voltado para soluções de sistemas reais, que traduzem o ambiente de trabalho. Por esse motivo sugere-se a inserção de disciplinas optativas ou até mesmo obrigatórias de SMES na ementa dos cursos de Engenharia na graduação e pós – graduação. Isso possibilita um aumento na qualidade do ensino das instituições, uma vez que inserindo essa disciplina em sua grade curricular os alunos se formam com conhecimentos multidisciplinares.

Cabe ressaltar que este trabalho aborda aspectos pedagógicos com a finalidade de contribuir para a formação de uma nova metodologia de ensino nos cursos de Engenharia.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao MEC/SESu, FNDE, CAPES, CnPq, COPPE/LASUP/UFRJ, FAPEMIG, FAPERJ Fundação CEFETMINAS e CEFET-MG pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Buckles, W., Hassenzahl, W. (2000) "Superconducting Magnetic Energy Storage", IEEE Power Engineering Review, May.

Fernandes, N. V.; Guedes, L. F. M. "Implantação de uma nova estrutura curricular nos cursos de engenharia mecânica e mecatrônica da PUCRS"-Anais: XXXIV – Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2006.

Gomes, F. J.; Ferreira, A. L. S.; Alves, A. S. C.; Martins, C. H. N.; Muniz, C. A.; Faria, P. V. A.; César, T. C. – "O problema da defasagem entre a teoria e a prática: proposta de uma solução de compromisso para um problema clássico de controle". Anais: XXXIV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Passo Fundo – RS, 2006.

Lamas, J. S. (2009). Projeto e Construção de um Limitador de Corrente Supercondutor Utilizando Fitas de YBCO. M.sc, Escola de Engenharia de Lorena - Universidade de São Paulo.

Moreira, A. F.; Carvalho, F. "Diretrizes Curriculares para os Cursos de Engenharia: Um Aprimoramento", Sociedade Mineira de Engenheiros – SME, VI ENEDS – Campinas, SP, Brasil, 2009.

Nomura S; Ohata Y; Hagita T; Tsutsui H; tsuji-iio S; Shimada R. (2005). "Wind Farms linked by SMES systems." IEEE Trans. Appl. Supercond., Vol15.

Torres V ; Eckroad S. (2001). "Improving power delivery through the application of superconducting magnetic storage." IEEE Power engineering Society winter Meeting.

Steurer M ; Luongo C ; Ribeiro P ; Eckroad S. (2003)"Interaction between a superconducting coil and the power electronics interface on a 100MJ SMES system", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, vol.13.

TOLEDO, O.M.T. A estrutura curricular do curso de Engenharia de Controle e Automação do CEFET-MG concebida por eixos de conteúdos e atividades. Anais: XXXIV – Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2006.

APPLICATIONS OF SMES IN ELECTRIC POWER SYSTEMS: THE NEED FOR INCLUSION IN THE CURRICULUM IN ENGINEERING EDUCATION.

Abstract: *New findings arouse interest by both the technological potential, as the contribution that technology can bring. Examples are superconducting energy storages*

(SMES), English, Superconducting Magnetic Energy Storage. This system, capable of storing large amounts of electricity, is highly reliable and has been the subject of much research. However it is important for engineering courses follow the development of this new technology and adapt to this new reality, embedding them in their teaching curriculum structure of this new technological revolution.

Key-words: *Energy Storages Superconductors, SMES, Electric Power System, Curriculum Structure.*