

IMPACTO DAS PROPRIEDADES DAS PELotas DE MINÉRIO DE FERRO NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE GUSA NO ALTO-FORNO*

Thiago de Moraes Gomes¹

Resumo

Este trabalho trata-se de uma pesquisa bibliográfica com o objetivo principal de analisar o impacto das diferentes propriedades que podem ter as pelotas de minério de ferro e seus comportamentos no processo de produção de gusa no alto-forno. São destacados conceitos e definições gerais sobre o tema, bem como exemplos de processos. Para tanto, foi realizado uma seleção bibliográfica em vários artigos, livros e portais da Internet, cujos autores subsidiaram na compreensão dos principais assuntos relacionados ao tema. Concluiu-se que existe a necessidade de se realizar um processo de seleção de pelotas com determinados tipos de propriedades para a produção de gusa no alto-forno, com isso reduzindo a quantidade de escória e aumentando o desempenho do alto-forno. Também existe a necessidade de novos estudos sobre este tema devido a escassez de artigos e livros que tratam especificamente deste para a siderurgia.

Palavras-chave: Seleção; Produtividade; Desempenho; Reator.

IMPACT OF THE PROPERTIES OF IRON ORE PELLETS IN THE PRODUCTION PROCESS OF IRON IN BLAST FURNACES

Abstract

This paper is related to a literature with the main objective to analyze the impact of different properties that can have the iron ore pellets and their behavior in the process of production of pig iron in the blast furnace. Concepts and definitions are highlighted on the general theme, as well as examples of processes. Therefore, we performed a selection literature in several articles, books and Internet portals, whose authors have subsidized the understanding of key issues related to the theme. It was concluded that there is a need to conduct a selection process of pellets with certain types of properties for the production of pig iron in the blast furnace, thereby reducing the amount of slag and increasing the performance of the blast furnace. There is also the need for further research on this topic due to shortage of articles and books that specifically deal with this for the steel industry.

Keywords: Selection; Productivity; Performance; Reactor.

¹ Graduando, Engenharia Metalúrgica, Bacharel em Sistemas de Informação e Pós-Graduado em MBA em Gestão Estratégica de Pessoas, Especialista, Analista de Sistemas no Departamento de Tecnologia da Informação na Universidade Vila Velha, Vila Velha, ES, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Diante do cenário imposto pelo mercado competitivo globalizado no mundo contemporâneo, a siderurgia brasileira estará garantida quanto ao suprimento do melhor minério de ferro e pelotas de minério de ferro, existentes no mercado mundial devido suas grandes reservas e empresas mineradoras.

Altos investimentos estão em execução, tanto na mineração quanto na pelotização e logística, visando ao atendimento da expansão do setor de mineração e siderúrgico. Nesse particular, as siderúrgicas brasileiras poderão tirar proveito dos benefícios dos minérios e pelotas de minério de ferro nacionais para a sua produtividade e competitividade.

Visando caracterizar as pelotas de minério de ferro é necessário realizar alguns ensaios através de análise física, análise química e análise metalúrgica para conhecer as características das pelotas que serão usadas no processo de produção de gusa no alto-forno.

1.1 Objetivo

Este trabalho pretende avaliar os aspectos mais relevantes acerca do impacto das propriedades das pelotas de minério de ferro e também compreender as novas técnicas demandadas pela siderurgia com relação a escolha da mesma, para melhor eficiência e eficácia no processo de produção de gusa no alto-forno.

Sendo assim esse trabalho tem como finalidade avaliar como a variação das propriedades das pelotas de minério de ferro pode impactar no processo de produção de ferro gusa do alto-forno.

1.2 Contexto do Problema

O setor da siderúrgica deve ser aprimorado visto que, os processos devem ser cada vez mais eficientes aumentando a produtividade, mas mantendo a alta qualidade.

Neste sentido a escolha deste tema relaciona-se a necessidade de compreender até que ponto as propriedades das pelotas de minério de ferro podem contribuir para melhorar o processo. Entendendo os erros que devem ser evitados na escolha das propriedades das pelotas de minério de ferro pelas siderúrgicas brasileiras.

1.3 Processo de Produção de Gusa no Alto-Forno

O alto-forno é um reator térmico no qual a carga sólida é descendente e os gases redutores ascendentes. É um equipamento contínuo e seu funcionamento é ininterrupto por anos. É destinada à produção de ferro gusa, matéria prima do aço.

O ferro gusa é o produto obtido a partir da redução de óxidos de ferro através dos elementos redutores como o dióxido de carbono(CO_2), e gás hidrogênio(H_2). Este produto tem em sua composição de 90 a 95% de ferro e 3,0 a 4,5% de carbono e alguns outros elementos. [1]

O alto-forno é um reator que funciona de forma de contra corrente apresentando um formato semelhante a de uma chaminé, tendo, em sua estrutura interna um material cerâmico e refratário que é resistente a altas temperaturas, e revestido por uma camada externa de aço. Neste processo, passa-se de 6 a 8 horas para transformar o minério de ferro em ferro gusa. [1]

Vale salientar que, neste processo, o ar é pré-aquecido e em seguida é soprado pelas ventaneiras, produzindo o dióxido de carbono (CO_2), que por sua vez reage com o carvão formando o monóxido de carbono (CO). Neste sentido, a umidade do ar reage com o carvão e forma o CO e H_2 . Estas são as reações endotérmicas que geram uma região com temperatura elevada, com aproximadamente 1850°C . [2]

O ferro reduzido absorve o carbono, é fundido e escorre para o cadinho na parte inferior do forno. O fluxo combina-se com as impurezas do minério de ferro e com as cinzas do carvão e forma uma escória que sobrenada o metal líquido do cadinho. Em períodos de tempo determinados o ferro-gusa, e a escória do alto-forno são vazados do cadinho pela casa de corrida. [1]

Os minérios de ferro, a pelota e o sinter são as fontes de óxidos de ferro das quais o ferro (Fe) é extraído neste processo. Estas matérias-primas trazem também impurezas, principalmente Al_2O_3 (alumina), CaO (cal), SiO (sílica) e MgO (óxido de magnésio), que fundidas formarão a escória que se dirige ao cadinho juntamente com o gusa. Na figura (Figura 1) se mostra o fluxo dos materiais dentro do reator. [1]

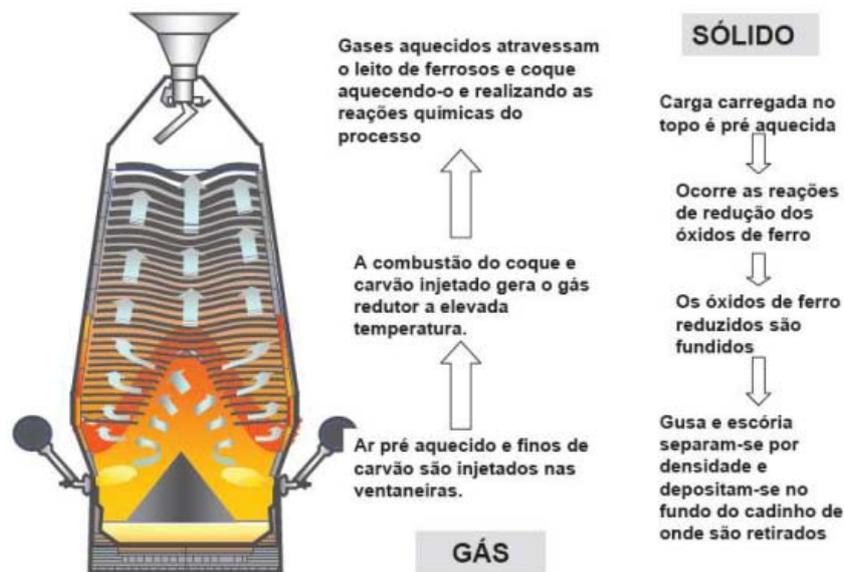


Figura 1: Fluxo de materiais dentro do alto-forno. Adaptado [1].

O alto-forno trata-se, portanto, de uma estrutura cilíndrica, de grande altura, que compreende essencialmente uma fundação e o forno propriamente dito. Esta, por sua vez, é constituída de cinco partes essenciais: Topo, cuba, ventre, rampa e cadinho. [3]

O cadinho corresponde à parte do alto-forno onde se acumulam o metal fundido e a escória, resultantes das reações que ocorrem no seu interior. [3]

No processo de obtenção do ferro gusa inicialmente tem-se o minério de ferro que é composto pelo metal (ferro) e pela ganga. Primeiro é necessário liberar o ferro usando um redutor (carvão) para eliminar o oxigênio do metal. Para isto se fornece muito calor, obtido pela própria queima do carvão. O ferro, já em estado líquido, se acumula no fundo do alto-forno. Para eliminar a ganga, junta-se o fundente, o que nos dá a escória, que por ser mais leve, se acumula sobre o ferro. Portanto, utilizando o processo de decantação, separa-se o ferro da escória. [2]

Dentro do alto-forno tem-se a seguinte sequência:

- Introduce-se a carga, composta de minério de ferro, coque e fundente.
- Entre 300°C e 350°C temos a dessecação, onde o vapor de água contido na carga é liberado.

- Entre 350°C e 750°C ocorre a redução, onde o óxido de ferro perde o oxigênio.
- Entre 750°C e 1150°C temos a carburação, onde o ferro se combina com o carbono formando a gusa.
- Entre 1150°C e 1800°C ocorre a fusão, onde a gusa passa para o estado líquido.
- Em torno dos 1600°C ocorre a liquefação, onde o gusa se separa da escória.

1.3.1 Zonas do alto-forno

As cargas são dispostas no interior do alto-forno, alternadamente, carvão e carga metálica. À medida que a carga desce no interior do forno, as camadas se tomam mais estreitas, mantendo a distinção entre elas. Essa região se denomina zona de granular. [1]

Ao atingir a temperatura de fusão, a carga metálica se torna pastosa e praticamente impermeável. Os gases aí passam através das camadas de carvão. Essa região é denominada zona de amolecimento e fusão. [1]

Abaixo da zona de amolecimento e fusão existe a zona de gotejamento, na qual o ferro já fundido começa a descer. Na figura (Figura 2) pode-se visualizar a disposição das cargas no interior do alto-forno. [1]

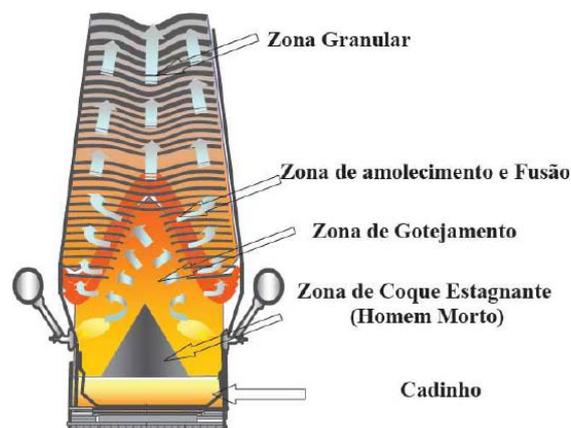


Figura 2: Disposição das cargas no interior do alto-forno. Adaptado [1].

1.4 Características das Pelotas

No processo de ensaio para analisar as diferentes características das pelotas de minério de ferro, torna-se necessário selecionar as pelotas, em seguida ocorrem as etapas relacionadas as análises químicas, avaliação de parâmetros físicos de qualidade como resistência à compressão; ensaio de resistência ao tamboramento e abrasão e também o comportamento metalúrgico. O objetivo central dos ensaios abrange o conhecimento sobre, como estes parâmetros se relacionam às suas propriedades a altas temperaturas. [4]

No fornecimento de minério de ferro para a indústria siderúrgica, os mineradores tem que atender a uma série de especificações referentes à qualidade química, granulométrica e, em alguns casos, também metalúrgica das matérias-primas para o processo no alto-forno. [4]

1.4.1 Principais características das pelotas

As pelotas de minério de ferro tem que ter elevada resistência à degradação, para resistir ao transporte e a operação de carregamento, tendo formação mínimas de

trincas, elevada redutibilidade em toda a faixa de temperatura, temperatura de amolecimento e fusão elevadas, porosidade elevada com poros pequenos, ligações de escórias bem distribuídas nos contornos de grãos além de ser química e termicamente estáveis até a uma temperatura intermediária nos processos de redução, mínimo possível de wustita (FeO) residual e sílica, para influenciar positivamente nas propriedades a altas temperaturas, uso de calcário calcítico ou cal calcítica, distribuição granulométrica estreita e boa permeabilidade.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa será realizada através de pesquisas de bibliográficas em bibliotecas físicas e digitais, em sites de siderúrgicas e mineradoras, em sites de consultas técnicas, em site de instituições de ensino, em artigos científicos e em teses de mestrados e doutorados.

Serão avaliados:

- Características químicas e físicas e as propriedades das pelotas de minério de ferro;
- Processo de obtenção de gusa no alto-forno;
- O impacto das propriedades das pelotas de minério de ferro no processo de obtenção de gusa do alto-forno.

Este se trata de um comparativo entre as propriedades das pelotas de minério de ferro reagindo no processo de formação de gusa no alto-forno.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Impacto das Propriedades das Pelotas no Alto-Forno

O grau de evolução alcançada na operação dos altos-fornos torna-se necessária uma avaliação técnica das matérias primas que serão consumidas a fim de aumentar a produtividade, eficiência e eficaz. Na figura (Figura 3) podemos ver onde impacta as propriedades das pelotas no processo de redução.

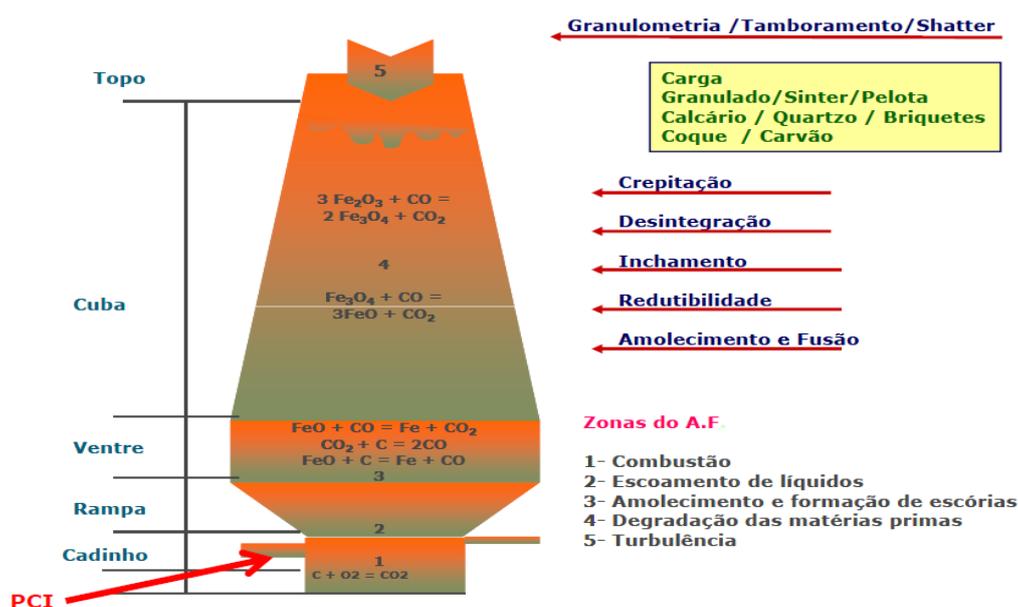


Figura 3: Processo do alto-forno [5].

3.1.1 Impacto da porosidade

O aumento de porosidade e mudanças estruturais durante o processo de redução no alto-forno geram forças internas e micro trincas. A perda de resistência mecânica durante e após redução é avaliado, mas alguma desintegração sempre ocorre. [5]
Um dos efeitos da porosidade no alto-forno é a formação de muitas desintegrações a baixas temperaturas em atmosferas com baixo potencial de redução (zonas superiores do alto-forno) reduzem a permeabilidade da carga além de por em perigo a operação do reator. [5]

3.1.2 Impacto da granulometria

A distribuição granulométrica e o tamanho médio dos grãos são importantes, pois influem na distribuição dos gases no interior do alto-forno, criando uma condição específica de marcha, com reflexo na produção do ferro gusa. Minérios com grandes quantidades de finos afetam negativamente a permeabilidade do leito no interior do alto-forno, e minérios com grandes quantidades de frações grossas tendem a ter sua condição de redutibilidade dificultada, ou seja, deve-se buscar um equilíbrio. [6]
O alto-forno tem que ser alimentado com minério preponderantemente na faixa de 5 a 50 mm para que os gases possam fluir pelo leito formado. Abaixo de 5 mm, o material fino bloquearia ou dificultaria a passagem dos gases através da carga. Acima de 50 mm, as reações com os gases seriam prejudicadas. [7]

3.1.3 Impacto da resistência a compressão

A avaliação de resistência antecede na entrada do minério no forno, pois a pelota tem que possuir resistência suficiente para resistir aos esforços de transporte e manuseio até o forno, bem como dentro do forno. A carga sólida (minério+coque) é alimentada no topo do alto-forno e desce em direção ao cadinho; no percurso vai sendo gradativamente aquecida pelos gases redutores, que são produzidos na parte inferior do forno e ascendem em direção ao topo. Por sua vez, a carga sólida em movimento descendente eleva sua temperatura a medida que vai tendo contato com gases cada vez mais quentes. Assim, a primeira exigência para a carga é que ela forme um leito permeável a passagem dos gases, e daí surge a exigência para a distribuição granulométrica do minério que vai alimentar o forno. [7]

A pelota com boa resistência a compressão se comporta adequadamente quando submetida à ação mecânica de uma carga e quedas sucessivas, provenientes das operações de manuseio, empilhamento e transporte. [7]

3.1.4 Impacto do inchamento

As pelotas incham ao serem reduzidas, mas há certos tipos que incham catastróficamente. São utilizados dois tipos de ensaios para avaliar a suscetibilidade da pelota ao inchamento: um reduzindo a amostra sem colocação de carga sobre ela; e outro submetendo a amostra à pressão mecânica enquanto é reduzida. [7]

As pelotas devem apresentar inchamento em média menor que 16%. Os efeitos nos altos-fornos são a redução do número de vazios na carga devido aumento de volume e a redução da resistência das pelotas com geração de finos. [1]

3.1.5 Impacto da degradação a baixa temperatura

Continuando a descida, a carga vai elevando sua temperatura até que começam as reações de redução do minério ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$). A primeira reação de redução começa por volta de 400°C, quando a hematita (Fe_2O_3) inicia sua transformação em magnetita (Fe_3O_4). Como a hematita e magnetita possuem

estruturas cristalinas diferentes, nessa transformação há aumento de volume do minério e enfraquecimento de sua estrutura que pode se desintegrar em maior ou menor grau, gerando uma quantidade de finos maior que a produzida devido à crepitação. Esse fenômeno é conhecido como desintegração sob a redução. [7]

Na fabricação do sinter e da pelota há necessidade de se atuar na matéria-prima e nos parâmetros do processo de forma a atenuar sua suscetibilidade a essa desintegração. Já no caso do granulado, o que pode ser feito é alimentar o alto-forno com granulados de menor suscetibilidade a desintegração. Desta forma surge a exigência de mais uma especificação de qualidade a que os minérios devem atender, usualmente conhecida como especificação de RDI (*Reduction disintegration index*) ou LTD (*Low-temperature disintegration*) do minério. [7]

3.1.6 Impacto da redutibilidade

A medida que vai descendo a carga, ela entra em contato com gases ainda mais aquecidos numa atmosfera que favorece sua redução e torna necessário ao minério possuir uma propriedade chamada redutibilidade, que é o grau de facilitação que o minério tem em ceder ao gás redutor os átomos de oxigênio ligados ao forno. Assim pode-se afirmar que quanto mais redutível o minério for, menor o consumo de combustível e redutor gasto no processo de produção do ferro gusa. [8]

A taxa em que a carga de minério de ferro é convertida em ferro metálico pela ação do gás redutor. Seus efeitos no alto-forno são uma alta redutibilidade corresponde a maior produtividade e menor consumo de energia no alto-forno.

3.1.7 Impacto da crepitação

Na parte superior do alto-forno o minério sofre um choque térmico devido ao rápido contato com os gases quentes ascendentes, podendo ocorrer uma desintegração em partículas mais finas, em um fenômeno como a crepitação. Sinter e pelotas não crepitam. Porém alguns tipos de minérios granulados resistem menos e crepitam acentuadamente. Como há geração de finos nesse fenômeno, que podem prejudicar o escoamento dos gases, não se podem alimentar o alto-forno com altos percentuais de granulados de elevada crepitação.

A crepitação é prejudicial a boa marcha do alto-forno, pois o volume de finos gerados obstrui os interstícios e obstrui a passagem de gases, reduzindo a permeabilidade e a produção de gusa. [6]

4 CONCLUSÃO

Portanto, podemos avaliar que a porosidade tem que ser controlada, nem muito alta de forma que possa reduzir a permeabilidade no alto-forno e nem muito baixa de forma que não haja permeabilidade dos gases na carga. Uma boa pelota deve ter sua porosidade na faixa de 25 a 30%. [9]

A granulometria tem que estar na faixa de 5 a 50 mm para que os gases possam fluir pelo leito formado. Abaixo de 5 mm, o material fino bloquearia ou dificultaria a passagem dos gases através da carga. Acima de 50 mm, as reações com os gases seriam prejudicadas.

A pelota tem que possuir resistência a compressão suficiente para resistir aos esforços de transporte e também manuseio até o forno, bem como dentro do forno. Uma boa pelota deve resistir a uma compressão média de 300 Kg/pelota. [1]

Sobre seu inchamento, as pelotas incham ao serem reduzidas, mas há certos tipos que incham catastróficamente, pois isso deve ser controlado, pois pode

comprometer seriamente a performance do alto-forno. O percentual de inchamento da pelota deve ser menor de 16% para mantermos a estabilidade no reator. [7] Na degradação a baixa temperatura, no processo de fabricação da pelota de minério de ferro, tem-se a necessidade de atuar na matéria-prima e nos parâmetros do processo, de forma a atenuar sua suscetibilidade a essa desintegração. Pode-se afirmar que quanto mais redutível o minério for, maior será sua produtividade e menor será o consumo de combustível gasto no processo de produção do gusa no alto-forno. [8]

Agradecimentos

Agradeço a Deus pela capacidade que Ele me deu de fazer este artigo. Também a minha esposa Aline Meireles Patrício Gomes pelos incentivos doados durante esta tarefa. Aos meus pais, José Ricardo Scampini Gomes e Luzia Marques de Moraes, que se dedicaram em me proporcionar uma boa formação profissional e de caráter.

REFERÊNCIAS

- 1 ARAÚJO, Luiz Antônio, Manual de Siderurgia. São Paulo: 1997.
- 2 UFOP, Universidade Federal de Ouro Preto. 2º Semestre, 2010. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/33664400/Engenharia-de-Processos-Siderurgia-Alto-Forno> Acesso em 04 de fevereiro de 2015.
- 3 CHIAVERINI, Vicente – Tecnologia mecânica. 2ª ed. – São Paulo: McGraw-Hill, 1986.
- 4 CASTRO, Alex André de, VIEIRA, Cláudio Batista, NOGUEIRA, Paulo de Freitas. Avaliação de Propriedades em Altas Temperaturas de Pelotas para Alto-forno. Rede Temática em Engenharia de Materiais UFOP-CETEC-UEMG, 2006. Disponível em: <<http://www.redemat.ufop.br/arquivos/dissertacoes/2006/avaliacao%20de%20propriedades.pdf>> Acesso em 04 de setembro de 2014.
- 5 VALE, Apostila de Pelotização de Minério de Ferro. Acervo Técnico. Propriedade Vale, 2008.
- 6 USIMINAS, Utilização do minério de ferro na siderurgia. Ipatinga: Usiminas, 2005.
- 7 IFES - Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo. Disponível em: <<ftp://ftp.cefetes.br/cursos/EngenhariaMetalurgica/Marcelolucas/Disciplinas/Reducao/ENSAIOS>> Acesso em 01 de outubro de 2014.
- 8 SOUZA NETO, Arthur Napoleão de; FREITAS, Thásia Medeiros de. Curso de avaliação da qualidade física e metalúrgica de minérios de ferro para alto-forno e processos de redução direta segundo as normas ISO. Belo Horizonte: IBRAM, 2007.
- 9 NUNES, José Eduardo Fernandes. Controle de um Processo de Pelotização: Realimentação por Imagem. Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, MG, 2011.