

**PROPOSTA DE MODELO DE ARMAZENAGEM DE EQUIPAMENTOS
SOBRESSALENTE PARA UTILIZAÇÃO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Roberto Paulo da Silva Pinto
Uff
rpaulojr2@yahoo.com.br

Carlos Francisco Simões Gomes
Universidade Federal Fluminense & Ibmecc-RJ
carlos.francisco@pq.cnpq.br

RESUMO

Este artigo propõe um novo modelo para a alocação de equipamentos sobressalentes a serem utilizados em linhas de transmissão de energia elétrica, pautada na priorização dos equipamentos com maior valor esperado de cobrança de multas por indisponibilidades. Tal proposta objetiva minimizar os custos das empresas proprietárias da linha com a logística de distribuição dos equipamentos e principalmente com minimização dos custos de cobranças de multas por indisponibilidade, distribuindo os sobressalentes de maneira ótima. Tal estudo, também pode ser utilizado para definir a melhor localização para ampliações ou construções de novos almoxarifados, pois determina os melhores locais para estocar os equipamentos.

PALAVRAS CHAVE. Alocação, Parcela variável, Sobressalentes.

Área principal (L&T - Logística e Transportes, EN - PO na Área de Energia, SIM – Simulação, SE - PO em Serviços, OA - Outras aplicações em PO)

ABSTRACT

This paper considers a new model for the surplus equipment allocation to be used in lines of transmission of electric energy, this model prioritize the equipments with bigger expected value of fines by non-availabilities situations. The proposal objective to minimize the costs of the companies proprietor with distribution of the equipments logistic and to minimize the collections of fines for non-availability situations, distributing the surpluses in an excellent way. The proposal can be used to define the best localization for magnifyings or constructions of new warehouses and distribution centers, because it determines the best places to storage the equipment.

KEYWORDS. Allocation. Changeable Parcel. Surplus.

Main area (L&T, EN, SIM, SE, OA)

1. Introdução

Este trabalho propõe um novo modelo para a alocação de equipamentos sobressalentes a serem utilizados em linhas de transmissão de energia elétrica. Este modelo objetiva minimizar as cobranças de multas às concessionárias de energia elétrica, fazendo com que as empresas de transmissão de energia possam aumentar as taxas de lucratividade pela simples realocação de equipamentos sobressalentes.

Este novo modelo proposto também pode ser utilizado na definição da localização de novos almoxarifados a serem construídos por uma empresa proprietária de linha de transmissão.

O setor de transmissão de energia possui inúmeras peculiaridades e a sua principal particularidade é o seu sistema de remuneração, onde a proprietária da linha de transmissão é remunerada pela disponibilidade de suas instalações, não importando o quanto de energia elétrica é transmitida, ou até mesmo se não é transmitida energia alguma. Assim, se uma instalação de transmissão de energia fica indisponível, mesmo que para simples manutenção, não só a empresa proprietária deixa de receber sua remuneração, como também sofre descontos em sua receita em função do tempo de duração da indisponibilidade, esta cobrança é chamada de parcela variável por indisponibilidade.

As empresas proprietárias de empreendimentos de transmissão de energia possuem ativos espalhados por todo o Brasil, e algumas vezes também no exterior, a distribuição de equipamentos sobressalentes ao longo de seus almoxarifados atualmente é feita pela facilidade em alocar o equipamento e disponibilidade de área para armazenagem.

A influência da cobrança de parcela variável na alocação de equipamentos sobressalentes só pode ser observada a partir do ano de 2007, quando a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) instituiu as regras de cobrança de descontos nas receitas, através da resolução normativa 270 de 26 de junho de 2007, porém neste ponto, diversas empresas do setor já possuíam seus almoxarifados estabelecidos sem considerar este critério, tal critério pode ser considerado nos dias de hoje como o critério primordial para a decisão de localização de um almoxarifado para o setor de transmissão de energia.

Segundo Monteiro (2007), o segmento de transmissão de energia elétrica tem garantido nos últimos anos as maiores margens de retorno de toda a cadeia energética brasileira. Tamaña lucratividade tem atraído diversas empresas para o setor, inclusive empresas estrangeiras. Desta forma, as ferramentas desenvolvidas neste trabalho serão de grande valia para as empresas deste setor, pois ao reduzir seus custos de alocação e parcela variável, além de aumentar a lucratividade, aumentam também a competitividade da empresa no setor. Pois, os novos empreendimentos do setor são realizados pelas empresas que admitirem construir, operar e manter os empreendimentos pela menor receita durante os pregões realizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica.

O trabalho propõe uma alocação dos equipamentos sobressalentes nos almoxarifados de modo a minimizar os custos das empresas de transmissão de energia elétrica, como as eventuais cobranças de parcela variável através da minimização do tempo de transporte e a própria minimização dos custos de transporte.

2. Transmissão de Energia no Brasil

No Brasil, grande parte da energia gerada é de origem hidráulica. Como as hidroelétricas são construídas em grandes rios que estão geograficamente distantes dos centros urbanos, faz-se necessário a construção e interligação de inúmeras linhas de transmissão de energia elétrica em território nacional.

Empreendimentos de transmissão de energia elétrica são aqueles que se destinam a permitir por si o deslocamento da energia elétrica entre os centros de produção (usinas) e os centros de consumo (companhias distribuidoras).

A extensão da rede brasileira de transmissão passou de 69.127 km, em 2000, para 91.055 km, em 2008, resultando em um crescimento médio de 3,1% ao ano (ANEEL, 2008).

A atividade de transmissão de energia elétrica é exercida mediante concessão, precedida de licitação na modalidade de leilão. Os vencedores dos leilões celebram contratos de concessão

de serviço público de transmissão, para a construção, operação e manutenção de instalações de transmissão.

Como contrapartida à prestação do serviço de transmissão de energia elétrica, as concessionárias recebem uma receita anual permitida (RAP) destinada a remunerar o investimento realizado com a expansão do sistema e cobrir os custos de operação e manutenção das instalações.

Até abril de 2012, os contratos de transmissão já somavam 154, assinados por tais 75 empresas, com forte participação de empresas privadas nacionais e estrangeiras, principalmente as de origem espanholas, italianas e chinesas (ANEEL, 2012).

A previsão, até 2016, é de que a Rede Básica atinja quase 120.000 km, segundo o levantamento apresentado nos estudos do Plano Decenal da Expansão de Energia Elétrica – PDEE, da Empresa de Pesquisa Energética – EPE (EPE, 2007).

Esse elevado crescimento faz do Brasil uma exceção no que diz respeito à expansão do setor de transmissão, tornando-o uma das nações líderes no mundo em termos de adição de novas instalações de transmissão (GROSS, 2007).

Nos Leilões de Transmissão, a menor receita ofertada define o vencedor da licitação e a Receita Anual Permitida associada às instalações de transmissão licitadas. A RAP resultante dos leilões é definida a partir de lances, limitados à receita máxima estabelecida pela ANEEL.

3. Parcela Variável

A empresa proprietária de linha de transmissão recebe pelos serviços prestados, mensalmente, um valor correspondente à 1/12 da receita anual permitida como remuneração de seus ativos, para assegurar os seus custos com manutenção e operação, não importando a quantidade de energia transmitida no período pelo empreendimento, ou seja, este setor é remunerado apenas por sua disponibilidade. Porém, esta forma de remuneração tende a comprometer a qualidade do serviço de transmissão prestado, pois o proprietário da linha de transmissão visa à maximização dos lucros. Como sua remuneração é fixa, o empreendedor tenta a redução máxima dos custos, tal redução pode levar à queda da qualidade do serviço, resultando no aumento de falhas e indisponibilidade do sistema.

Para garantir a qualidade dos serviços de transmissão de energia, e objetivando maximizar a disponibilidade dos equipamentos de transmissão, a ANEEL homologou a resolução normativa 270 em junho de 2007, estabelecendo penalizações em termos financeiros às indisponibilidades dos ativos de transmissão de energia. Nesta resolução foi criada a parcela variável, (PV), com o objetivo de incentivar a qualidade dos serviços de transmissão prestados pelas empresas proprietárias.

A parcela variável consiste em penalidades na forma de descontos nas receitas dos proprietários que deixarem seus equipamentos indisponíveis, essas “multas” são diretamente proporcionais ao tempo de duração da indisponibilidade. Desta forma, a parcela variável objetiva a maximização da disponibilidade das instalações e conseqüentemente o aumento da confiabilidade do fornecimento de energia elétrica aos consumidores. Essas multas são descontadas do valor de pagamento base a ser recebido pelo proprietário da linha de transmissão.

O mercado de transmissão de energia utiliza o conceito de qualidade em serviços para explicar a “parcela variável”, que é representada por descontos na receita oriundos da “falta de qualidade” na prestação do serviço. O custo da qualidade (custo para evitar a “parcela variável”) é um dilema para o investidor, pois tal custo pode inviabilizar um projeto caso seja maior que o necessário ou pode fazer com que o empreendimento não seja bem sucedido caso seja inferior ao necessário.

A remuneração é feita por cada grupo de equipamento integrante da linha de transmissão, tais grupos de equipamentos são classificados como função transmissão, ou FT, também podem ser definidos como: conjunto de instalações funcionalmente dependentes, considerado de forma solidária para fins de apuração da prestação de serviços de transmissão, compreendendo o equipamento principal e os complementares.

As funções transmissão descritas na resolução 270 da ANEEL são as seguintes: linha de

transmissão (LT), transformador (TR), controle de reativo (CR), reator (REA), compensador estático (CRE), compensador síncrono (CSI), banco de capacitores (BC), e compensador série (CSE).

As funções transmissão podem ser compostas por mais de um equipamento, e no caso da função linha de transmissão, ela é composta de pelo menos os seguintes equipamentos: ferragens, torre, isoladores, condutores e cabo pararráio.

Quando a soma das durações dos tempos de desligamento de uma função transmissão, apurados num período de 12 meses ultrapassar o período máximo de tempo descrito pela resolução 270 da ANEEL, o empreendimento sofrerá descontos na receita oriundos da cobrança de parcela variável.

A cobrança de parcela variável é calculada pela seguinte equação:

$$PV = \frac{PB}{1440D} Kp \sum DP + \frac{PB}{1440D} \sum Ko.DO$$

Onde:

- PV é o valor de parcela variável a ser descontado do valor de pagamento base que a empresa receberia,
- PB é o pagamento base (receita),
- D é o número de dias do mês,
- Kp é o fator de desligamento programado,
- Ko é o fator para outros desligamentos, até que se alcance um máximo de 300 minutos, após isto, Ko passa a ser igual à Kp.
- DP é a duração da parada programada, e
- DO é a duração das outras paradas.

A tabela de valores para Ko e Kp é apresentada na tabela 1.

Função Transmissão		Fator Ko		Fator Kp	
		Ano 1	Ano 2	Ano 1	Ano 2
LT		100	150	6,67	10
TR		100	150	6,67	10
CR	REA	100	150	6,67	10
	CRE	100	150	5	7,5
	CSI	50	50	2,5	2,5
	BC	50	100	2,5	5
	CSE	100	150	5	7,5

Tabela 1 – Valores para Ko e Kp - Fonte: ANEEL (2007)

Para a interrupção ser considerada de origem programada, ele deve ser solicitada pelo proprietário do empreendimento ao operador nacional do sistema com antecedência mínima de 30 dias.

Neste contexto de parcela variável, podemos afirmar que os sobressalentes e equipamentos reservas devem estar sempre à disposição e armazenados o mais próximo possível do seu local de utilização, pois a cobrança de parcela variável se dá pelo tempo de duração de indisponibilidade. O modelo proposto neste trabalho objetiva minimizar a contribuição do deslocamento dos equipamentos sobressalentes no valor pago pela empresa proprietária da linha de transmissão, ao distribuir os equipamentos de maneira ótima em seus almoxarifados.

4. Pesquisa Sobre a Mesma Problemática em Outros Países

Foi realizada uma pesquisa sobre como este problema é solucionado em outros países, e comparada às metodologias utilizadas com as necessidades do mercado de transmissão brasileiro, mesmo sabendo que o setor de transmissão elétrica do Brasil é único no mundo, com diversas peculiaridades que não são encontradas em nenhum outro país no mundo (Santos et All, 2008).

Assim como no Brasil, o mercado de energia elétrica nos EUA é desverticalizado, ou seja, transmissão, geração e distribuição possuem diferentes proprietário (Chowdhury 2001), isto

é feito para aumentar a competitividade do setor de energia elétrica.

Nos EUA e Canadá são utilizados dados estatísticos de falhas dos equipamentos utilizados na transmissão de energia para calcular os custos de manutenção e alteração dos equipamentos (Chowdhury 2001) e (Natti et All, 2007), porém não utilizam como base de cálculo para custos de gestão de equipamentos nenhum tipo de multa (como a parcela variável no Brasil) e se baseiam no custo do não atendimento aos consumidores de energia, uma vez que são remunerados pela quantidade de energia transmitida (diferentemente do Brasil).

Os americanos tabelam as probabilidades de falha de cada equipamento e seu tempo de vida útil para planejar a substituição e os custos associados à administração dos equipamentos utilizados (Chowdhury 2001), (Baughman et All, 2009) e (Dolezilek, 2011), não levam em consideração fatores de tempo de deslocamento do centro de armazenagem até o local de utilização dos equipamentos.

Amarasinghe et All (2008), propõe um algoritmo com um intuito de maximizar a receita dos proprietários de empreendimentos de transmissão de energia elétrica no mercado americano, porém o modelo proposto é totalmente baseado na máxima transmissão de energia e minimização das perdas do sistema, a utilização de sobressalentes se limita ao necessário para minimizar perdas, não são levados em consideração custos com armazenagem de sobressalente, transporte e multas.

Baughman et All (1976) descreve os custos de transmissão de energia em vários estados dos EUA, levam em consideração os custos de operação em manutenção das linhas, mas não cita os custos de armazenagem de equipamentos e descolamento de equipamentos, apesar de deixar claro que a localização do equipamento e a geografia do local influenciam nos custos das linhas de transmissão.

Como no Brasil a remuneração do setor de transmissão é feita pela simples disponibilidade e a indisponibilidade resulta em multas que são diretamente proporcionais ao tempo de duração da indisponibilidade, é necessária a incorporação de fatores de tempo de deslocamento dos equipamentos sobressalentes, de onde podemos concluir que o modelo de gestão de sobressalentes utilizado nos EUA não é aplicável ao mercado brasileiro.

Cheng et All (2008) apresenta algoritmos de minimização de custos em transmissão de energia elétrica, considera equipamentos sobressalentes, os utiliza em simulações de possibilidades de expansões futuras do sistema e em alterações de configurações nas linhas de transmissão, o que não pode ser considerado como aplicável ao mercado brasileiro, pois no Brasil expansões e construções de novas linhas de transmissão não são possíveis pela simples decisão da empresa proprietária da linha de transmissão, deve ser autorizada e na maioria das vezes licitadas pela ANEEL, uma empresa não pode fazer um investimento desta natureza no Brasil, pois não há garantias desta empresa vir a ser a proprietária das novas linhas de expansão (caso haja). Cheng et All (2008) não leva em consideração fatores de armazenagem, deslocamento dos equipamentos sobressalentes e cobranças de multas, uma vez que as empresas de transmissão de energia são todas estatais e não há concorrência, logo não há a necessidade de penalizações.

Em países europeus analisados, como Finlândia e Portugal, a transmissão de energia se constitui em monopólio (Lehtonen 1997) e (Meneses et All, 2011), ou seja, não há concorrência, além destes países possuem áreas totais bem inferiores à do Brasil e por esse motivo quilometragem de linhas de transmissão bem inferiores às do Brasil também, o que por si só já demonstra que os modelos utilizados para armazenagem não são aplicáveis à realidade brasileira.

Em Portugal também se objetiva a minimização da indisponibilidade no serviço de transmissão (Meneses et All, 2011), mas não são citados cobranças de multas por indisponibilidade e em consequência não há custos de tempo de transporte de equipamentos sobressalentes que resultariam em multas.

5. Construção do Modelo

No modelo proposto, deve-se calcular o valor esperado de parcela variável de todas as funções transmissão de propriedade da companhia com base em seus valores históricos, depois deste cálculo, se deve ranquear as funções transmissão da companhia analisada, de modo a

priorizar a armazenagem dos equipamentos com maior valor esperado de parcela variável mais próximos aos locais de utilização, isto fará com que seja reduzido o tempo de transporte e logo o valor da parcela variável decorrente da armazenagem e do transporte, reduzindo os custos totais e aumentando os lucros dos proprietários das linhas de transmissão.

O cálculo do valor esperado de parcela variável das funções transmissão é feito calculando os tempos médios de parada programada e de outras paradas, em um determinado período de tempo, cada uma dessas médias deve ser multiplicada pelo valor de parcela variável por minuto, e depois estes valores devem ser somados.

Ficamos então com as seguintes fórmulas de valor esperado de parcela variável para cada função transmissão, dependendo dos valores de números de desligamentos:

$$E(pv) = \frac{PB}{43200} Kp \left(\frac{\sum_{i=1}^{n_{DP}} DP_i}{n_{DP}} \right) + \frac{PB}{43200} Ko \left(\frac{\sum_{i=1}^{n_{DO}} DO_i}{n_{DO}} \right)$$

Para:

$n_{DP}, n_{DO} > 0$

Onde:

- E(PV) é o valor esperado de parcela variável para cada função transmissão,
- PB é o pagamento base (receita),
- O valor de 43200 é a multiplicação do valor de 1440 pelo número médio de dias dos meses, que é 30.
- Kp é o fator de desligamento programado de cada função transmissão,
- Ko é o fator para outros desligamentos de cada função transmissão,
- DP é a duração da parada programada,
- DO é a duração das outras paradas,
- nDP é o número de desligamentos programados no período analisado, e
- nDO é o número de desligamentos programados no período analisado.

A tendência de minimizar os valores de parcela variável em função dos deslocamentos logísticos é feita ao se alocar os sobressalentes e equipamentos reservas de maneira mais próxima a sua utilização, ou seja, na própria subestação, porém a área destinada à armazenagem nas subestações é limitada, e algumas vezes inexistente, então ela deve ser alocada em outro lugar, de maneira que chegue o mais rápido possível. Este novo lugar na metodologia proposta neste trabalho pode ser outra subestação ou em um centro próprio para armazenagem.

Esta metodologia proposta pode ser utilizada como base para escolha de localizações de construção ou ampliação de novos centros de armazenagem ao fazermos simulações em programas computacionais com os algoritmos descritos neste trabalho.

Outras aplicações à metodologia proposta é a vantagem competitiva a qual a empresa que possui esta metodologia possui ao participar de pregões para a construção de novas linhas de transmissão, pois a empresa pode simular se haverá a necessidade de construção de novos almoxarifados ou ampliações dos já existentes, no caso da empresa adquirir uma nova concessão.

Esta metodologia também pode ser aplicada quando uma empresa adquire outra ou quando há fusões de empresa, para definir quais almoxarifados serão utilizados. Pode ser utilizada também na utilização conjunta dos almoxarifados de diferentes empresas.

A empresa deve construir uma matriz de distâncias entre seus almoxarifados (tanto os localizados em subestações, quanto os que somente são centros de armazenagem).

Uma observação importante deve ser feita no caso das funções transmissão linha de transmissão, pois é a única função que não fica totalmente dentro de uma subestação, na realidade esta função interliga duas subestações. Como podem ocorrer falhas ao longo de toda a linha de transmissão, os equipamentos da função linha de transmissão devem ser divididos em dois pontos de análise, que são as duas subestações interligadas, desta forma, os equipamentos das funções linhas de transmissão, para efeito de cálculo, devem ser divididas ao meio e ter seus sobressalentes

armazenados metade em cada subestação que a liga.

Deve-se calcular as áreas disponíveis de armazenagem de todas as subestações e almoxarifados disponíveis, assim como a área necessária para a armazenagem de todos os equipamentos integrantes das funções transmissão.

O custo de transporte dos equipamentos deve ser levantado. Lembrando que os custos de transporte de tais equipamentos são muitos diferentes, pois levam em consideração a distância, o peso dos equipamentos e seus volumes.

Os equipamentos sobressalentes então, vão sendo alocados nos locais mais próximos possíveis da utilização dos equipamentos, indo do equipamento com maior valor esperado de parcela variável até o de menor, dentro da disponibilidade de espaço do local de armazenagem, quando este local chegar ao limite, passasse para o próximo local de armazenagem disponível.

Já determinada a melhor alocação possível para cada função transmissão, deve se desmembrar os equipamentos integrantes de cada função transmissão, para a perfeita alocação contábil dos equipamentos.

Depois da alocação das funções transmissão em seu respectivo almoxarifado, devesse calcular o tempo que o material leva do almoxarifado até o local de utilização, este tempo será utilizado no cálculo de um índice, que definimos neste trabalho com índice de influência da logística na parcela variável, cujo objetivo do trabalho deve ser minimizá-lo. O cálculo do valor monetário será o mesmo dos cálculos de parcela variável definidos neste trabalho, utilizando o tempo de deslocamento como tempo de indisponibilidade. Para este cálculo são levados em consideração os tempos médios de desligamentos programados e de outros desligamentos.

Outros valores integrantes do índice de influência da logística na parcela variável serão os custos de transporte dos equipamentos integrantes da parcela variável e o custo de armazenagem.

Os índices de influência da logística na parcela variável de cada função transmissão da empresa devem ser somados, para que obtenhamos tal índice da companhia.

Também deve ser calculado o índice de utilização dos almoxarifados, que consta do nível percentual ao qual cada almoxarifado é utilizado. Este índice será utilizado para sabermos qual almoxarifado deve ser ampliado ou reduzido, e os melhores locais para construção de novos almoxarifados. As simulações podem ser utilizadas para testar diversas situações diferentes de utilização da alocação de sobressalentes.

Para minimizar os custos de armazenagem, os almoxarifados com nível de utilização inferior a 100% devem ser reduzidos até que se chegue neste índice, já para os almoxarifados com níveis de utilização de 100%, devem ser simuladas situações com aumento do almoxarifado, pois isto pode demonstrar que materiais alocados em outros almoxarifados podem ser alocados neste almoxarifado no caso de ampliações, de modo a minimizar os custos.

Deste modo, os custos de armazenagem terão um valor real (o valor dos custos dos almoxarifados existentes) e será determinado o valor ótimo (utilização do valor percentual mínimo necessário).

Simulações computacionais devem ser realizadas para que se possam definir os melhores locais para armazenagem, construção ou ampliação de alguns almoxarifados, e eventualmente redução ou eliminação de alguns almoxarifados, pois saberíamos o nível de utilização ótimo de cada almoxarifado.

O cálculo do índice de influência da logística na parcela variável, definida neste trabalho, é apresentado na seguinte equação:

$$I = \sum_{i=1}^n PV_{TT} + \sum_{i=1}^n C_t + \sum_{i=1}^{n_a} C_{AO}$$

Onde:

- PV_{TT} é o valor estimado de parcela variável em função do tempo de transporte,
- C_t é o custo de transporte,
- C_{AO} é o custo de armazenagem ótimo,

- n é o número de funções transmissão, e
- n_a é o número de almoxarifados

O valor da parcela variável em função do tempo de transporte é calculado pela seguinte equação .

$$PV_{TT} = \frac{PB}{43200} Kp \cdot \frac{S}{V_m} \frac{\left(\frac{\sum_{i=1}^{n_{DP}} DP_i}{n_{DP}} \right)}{\left(\frac{\sum_{i=1}^{n_{DP}} DP_i}{n_{DP}} \right) + \left(\frac{\sum_{i=1}^{n_{DO}} DO_i}{n_{DO}} \right)} + \frac{PB}{43200} Ko \cdot \frac{S}{V_m} \frac{\left(\frac{\sum_{i=1}^{n_{DO}} DO_i}{n_{DO}} \right)}{\left(\frac{\sum_{i=1}^{n_{DP}} DP_i}{n_{DP}} \right) + \left(\frac{\sum_{i=1}^{n_{DO}} DO_i}{n_{DO}} \right)}$$

Para:

- V_m, n_{DP} e $n_{DO} > 0$

Onde:

- PB é o pagamento base (receita),
- O valor de 43200 é a multiplicação do valor de 1440 pelo número médio de dias dos meses, que é 30.
- Kp é o fator de desligamento programado de cada função transmissão,
- Ko é o fator para outros desligamentos de cada função transmissão,
- DP é a duração da parada programada,
- DO é a duração das outras paradas,
- n_{DP} é o número de desligamentos programados no período analisado,
- n_{DO} é o número de desligamentos programados no período analisado,
- V_m é a velocidade média no qual o equipamento é transportado do local de armazenagem até o local de utilização,
- S é a distância entre o local de armazenagem e o local de utilização do material.

O custo de armazenagem ótimo é descrito na seguinte equação:

$$C_{AO} = C_{AR} \cdot N$$

Onde:

- Onde C_{AR} é o custo de armazenagem real, e
- N é o índice de utilização do almoxarifado.

$$N = \frac{\text{Espaço Utilizado}}{\text{Espaço Total}}$$

O peso estimado dos equipamentos integrantes das funções transmissão é um dado importante para calcularmos os custos de transporte, que é função do peso e da distância transportada.

A área que os equipamentos integrantes das funções transmissão ocupam é outro dado essencial para a análise, pois a partir dele podemos avaliar a área necessária para utilização nos almoxarifados.

O peso e a área dos equipamentos das funções transmissão podem ser determinados de maneira direta, exceto para a função transmissão linha de transmissão, onde estes valores devem ser calculados.

Para se determinar o peso e a área necessária para armazenagem dos equipamentos da função transmissão linhas de transmissão se deve levar em consideração o comprimento da linha. Cada subestação que liga a linha de transmissão fica responsável (a princípio) pela armazenagem de metade dos equipamentos da linha de transmissão, assim, dividimos a linha em dois pontos e centralizamos nas extremidades. Desta maneira, o peso dos equipamentos e a área de

armazenagem desta função podem ser estimados pelas equações a seguir:

$$P = p \frac{C}{2D}$$

Onde:

- P é o peso de metade da linha de transmissão,
- p é o peso de cada torre e de uma fração dos cabos que unem duas torres,
- C é o comprimento da linha, e
- D é a distância entre torres.

$$A = a \frac{C}{2D}$$

Onde:

- A é a área de armazenagem que metade da linha de transmissão ocupa,
- a é a área de armazenagem que uma torre de transmissão e os cabos que unem duas torres,
- C é o comprimento da linha, e
- D é a distância entre torres.

As cargas das funções transmissão não são fracionáveis, a não ser o da função transmissão linha de transmissão, ou seja, a estocagem e transporte dos equipamentos da função transmissão linha de transmissão pode ser realizada de forma separada e em locais diferentes, o mesmo não acontece para as outras funções transmissão.

6. Validação do Modelo

O modelo proposto foi validado através da construção de um programa computacional que executasse os cálculos propostos neste trabalho.

Para exemplificar, será apresentado um modelo em escala reduzida, com uma proporção de número de equipamentos e funções transmissão pelo menos cem vezes menor às encontradas na realidade.

Os dados das funções transmissão existentes neste exemplo são apresentadas nas tabelas 2 e 3.

FT	Subestação	PB (R\$)	T Deslig. (min)		Peso (Ton)	Área (m ²)	Veloc. Transp. (km/h)
			Progr.	Outros			
BC	S1	15343,3	0	6	100	40	50
BC	S2	244497,4	0	6	100	40	50
REA	S3	3675,13	0	1429	70	20	50
TR	S3	36320,86	0	249	134	30	50
TR	S2	209295,1	0	58	164	60	50

Tabela 2 – Funções Transmissão exceto Linha

FT	SE	Destino	PB (R\$)	Tempo Deslig. (min)		Comprimento da Linha (km)	Dist. Torres (km)	Peso Unitário (Ton)	Área Unitária
				Progr.	Outros				
LT	S1	S2	1542876	0	56	52	0,05	2	25
LT	S2	S3	1542876	0	56	200	0,05	2	25

Tabela 3 – Funções Transmissão Linha

As Distâncias entra as subestações, os custos de transporte e as áreas de armazenagem disponíveis são apresentadas nas tabelas 4, 5 e 6, respectivamente.

	S1	S2	S3
S1	0	52	110
S2	52	0	200
S3	110	200	0

Tabela 4 – Distância entre as Subestações

Distância (km)	Valor do Transporte (R\$) para as Faixas de Toneladas						
	30	50	60	80	100	134	170
50	14.700	17.250	18.150	20.400	119.000	129.100	129.100
200	15.300	18.000	19.000	21.300	101.000	116.400	116.400

Tabela 5 – Custo de Transporte

Centro de Armazenagem	Área Disponível (m ²)		Custo (R\$/m ²)	
	Abrigada	Desabrigada	Abrigada	Desabrigada
S1	48	37367	20,1	6,8
S2	76	28600	15,44	3,69
S3	176	1233	12,53	5,02

Tabela 6 – Dados de Armazenagem

Com os cálculos estabelecidos neste trabalho, ficamos com os locais de armazenagem dos equipamentos das funções transmissão conforme as tabelas 7 e 8, e as taxas de utilização dos almoxarifados conforme as tabelas 9 e 10.

FT	Subestação	SEAlocada	PVtt	CT
TR	S2	S2	0	0
TR	S3	S3	0	0
REA	S3	S3	0	0
BC	S2	S1	9,810079	101000
BC	S1	S3	1,302286	101000

Tabela 7 – Locais de Armazenagem das Funções Transmissão Exceto Linha

SE	Destinos	Centro de Armazenagem	PVtt	Custo Transp. (R\$)	Área Alocada (m ²)	Distância Subestações (m ²)
S1	S2	S1	0	0	13000	0
S2	S3	S2	0	0	28600	0
S2	S3	S1	92,85828	1280400	21400	52

Tabela 8 – Locais de Armazenagem das Funções Transmissão Linha

Centro de Armazenagem	Área Abrig. Disp. (m ²)	Taxa de Utilização (%)	Custo Área Abrig. (m ²)	Custo Armaz. Abrigada (R\$)	
				Real	Ótima
S1	48	82,76	20,1	971,50	804,00
S2	75	79,30	15,44	1168,29	926,40
S3	176	51,14	12,53	2205,28	1127,7

Tabela 9 – Taxa de Utilização de Área Abrigada dos Almoxarifados

Centro de Armazenagem	Área Desab. Disponível	Taxa de Utiliz. %	Custo Área Desab. (m ²)	Custo Armaz. Desabrig. (R\$)	
				Real	Ótima
S1	37366	92	6,8	254093	233920
S2	28600	100	3,69	105534	105534
S3	1233	0	5,02	6191	0

Tabela 10 – Taca de Utilização de Área Desabrigada dos Almoxarifados

O índice de influência da logística no valor da parcela variável calculado neste exemplo foi de R\$ 1824816,07, porém este valor pode ser reduzido, pois a área desabrigada do almoxarifado de S2 foi utilizada em 100% de sua capacidade, logo, simulando situações com a ampliação de tal área disponível, se pode chegar a valores inferiores de índice de influencia da logística no valor de parcela variável, assim como, podem ser reduzias as áreas dos almoxarifados que possuem nível de ocupação inferior à 100%, para reduzir o custo de administração do almoxarifado. Também se podem eliminar os custos dos almoxarifados com 0% de utilização, como no caso da área desabrigada da subestação S3.

7. Conclusões

É observado que o problema de alocação de materiais sobressalentes de equipamentos para utilização em linhas de transmissão no mercado brasileiro é um problema único no mundo, pois as peculiaridades do mercado de transmissão de energia elétrica do Brasil são muito diferentes dos mercados de transmissão de energia nos demais países. O Brasil é o único país que apresenta em conjunto os seguintes aspectos: grande extensão territorial com a necessidade de linhas de transmissão cruzando o país, competição no mercado de transmissão, remuneração apenas pela disponibilidade das instalações, e multas por indisponibilidade do serviço em função do tempo de duração do desligamento da linha. Sendo assim os modelos utilizados nos outros países não podem ser aplicados ao Brasil.

O modelo proposto para a alocação de equipamentos sobressalentes para o setor de transmissão de energia elétrica é um trabalho inédito e será de grande utilidade para as empresas do setor, uma vez que poderá ser utilizada para vários fins, entre eles podemos destacar os seguintes:

- Diminuição dos custos logísticos;
- Diminuição dos custos de armazenagem;
- Descobrir as áreas ótimas necessárias para armazenagem total e para cada almoxarifado;
- Aumentar a competitividade das empresas frente à aquisição de novos empreendimentos ou fusões de empresas, por possibilitar o maior aproveitamento da infraestrutura já existente;
- Simular diversas situações de aumento e redução de almoxarifados e seus impactos econômicos;
- Localizar os melhores locais para ampliação e construção de novos almoxarifados.

A parcela variável por indisponibilidade é o maior fator redutor da lucratividade das empresas proprietárias de linha de transmissão. E é neste fator diretamente que a metodologia proposta de distribuição de equipamentos sobressalentes age, priorizando os equipamentos com maior valor de parcela variável por indisponibilidade a ser paga, fazendo com que esteja o mais próximo possível do local de sua utilização. Porém, outros custos são levados em consideração, como os custos de transporte e o próprio custo de armazenagem.

O índice de influência da logística na parcela variável ótimo seria zero, mais este valor é utópico, pois para que seja zero, todos os equipamentos sobressalentes devem estar armazenados nas próprias subestações de sua utilização, o que aumentaria os custos de armazenagem, em alguns casos até exponencialmente.

A diminuição dos custos logísticos e de armazenamento por si só poderá aumentar as taxas de lucratividade dos proprietários dos empreendimentos de transmissão energia.

Através das definições de taxa de utilização ótima dos almoxarifados, se poderão descobrir onde é melhor construir, ampliar, e até mesmo reduzir almoxarifados, de modo a aumentar as taxas de lucratividade.

Possuir o domínio desta metodologia é uma vantagem competitiva à qual a empresa proprietária de linha pode ter, pois este mercado é cada vez mais competitivo, e esta metodologia pode fazer com que a empresa aproveite melhor sua infraestrutura já existente para reduzir custos em novos empreendimentos, também pode aumentar a competitividade em disputas de licitações para construção de novas linhas, fusões, e aquisições de outras empresas do setor.

Referências

- Almeida, A. e Morais, D.** Modelo de Decisão em Grupo para Gerenciar Perdas de Água. *Pesquisa Operacional*, v.26, n.3, p.567-584, Setembro a Dezembro de 2006
- Agência Nacional de Energia Elétrica.** Resolução 270, de 26 de junho de 2007. *Estabelece as disposições relativas à qualidade do serviço público de transmissão de energia elétrica, associada à disponibilidade das instalações integrantes da Rede Básica*, Brasília, 2007.
- Agência Nacional de Energia Elétrica.** Atlas da energia elétrica do Brasil – 3ª Edição – Brasília: ANEEL, 2008. 233 p.:il.
- Agência Nacional de Energia Elétrica.** Espaço do Empreendedor – Editais de Transmissão (<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=54> acessos em abril de 2012), Brasília, 2012.
- Amarasingue, L. e Annakkage, U.** Determination of Network Rental Components in a Competitive Electricity Market. *Transactions on Power Systems*. Canadá, 2008.
- Baughman, M. e Bottaro, D.** Electric Power Transmission and Distribution Systems: Costs and Their Allocation. *Transactions on Power Apparatus and Systems*. New York, 1976.
- Cheng, H.; Yao, L.; Ma, Z.** Transmission Surplus Capacity Based Power Transmission Expansion Planning Using Chaos Optimization Algorithm. *Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies*. China, 2008.
- Chowdhury, A. e Koval, D.** Deregulated Transmission System Reliability Planning Criteria Based on Historical Equipment Performance Data. *Transactions on Industry Applications*. Florida, 2001.
- Dolezilek, D.; Rocha, G.** Decision-Making Information From Substation IEDs Drives Equipment Life Extension, Modernization, and Retrofitting. *IEEE PES International Conference and Exhibition on Digital Object Identifier*. Espanha, 2011.
- EPE.** Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica – Estudos das Tarifas de Uso do Sistema de Transmissão – Análise da Evolução das Tarifas de Uso do Sistema de Transmissão – *Ministério de Minas e Energia – MME e Empresa de Pesquisa Energética – EPE* Rio de Janeiro, 2007.
- Ferreira Filho, V. e Ignácio, A.** O uso de Software de modelagem AIMMS na solução de Problemas de Programação Matemática. *Pesquisa Operacional* vol.24 no. Rio de Janeiro Jan./Apr, 2004.
- Gross, G.** “Transmission Expansion Overview” in Final Report for the Project PNUD BRA/98/019, Brasília, 2007.
- Yanasse, H.; Becceneri, J e Soma, N.** Um algoritmo exato com ordenamento parcial para solução de um problema de programação da produção: experimentos computacionais. *Gest. Prod.*, São Carlos, v. 14, n. 2, p. 353-361, maio-ago. 2007
- Lehtonen, A.; Antila, E. e Ala-Risku, E.** Metering and Energy Management in the Environment of a De-regulated Electricity Market. *14th International Conference and Exhibition*. Finland, 1997.
- Meneses, A. e Pinto, L.** Quality of Supply at the Portuguese Electricity Transmission Grid. *Electrical Power Quality and Utilization*. Portugal, 2011.
- Monteiro, Ricardo R.** Suplemento Especial. *Jornal Gazeta Mercantil*. Rio de Janeiro. 29 de março de 2007.
- Natti, S.; Kezunovc, F.** Transmission System Equipment Maintenance: On-line Use of Circuit Breaker Condition Data. *Power Engineering Society General Meeting*. Texas, 2007.
- Santos, G.; Barbosa, E.; Silva, J. e Abreu, R.** Por que as Tarifas Foram para os Céus? Propostas para o Setor Elétrico Brasileiro. *Revista do BNDES*. Rio de Janeiro, 2008.