



**XXIII SNTPEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GPL/24
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO - VII

GRUPO DE ESTUDO DE PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GPL

**PLANEJAMENTO DE REDES INTELIGENTES PARA SISTEMAS DE TRANSMISSÃO - TECNOLOGIAS,
APLICAÇÕES E PROJETOS**

**Paulo Augusto Pinto Oliveira
UNIFEI**

**Paulo Fernando Ribeiro
UNIFEI**

**Roberto Silva Netto
UNIFEI**

RESUMO

A crescente demanda de energia elétrica faz com que surjam necessidades de ampliação e otimização do sistema de geração, transmissão e distribuição de eletricidade. Assumindo a tendência atual de modernização de serviços levando em consideração não só o lado econômico, mas também o lado ambiental (1) de qualquer *retrofit*, este artigo descreverá alguns tópicos relacionados à aplicações em transmissão de energia elétrica, bem como projetos no Brasil e no mundo. Alguns dos assuntos a serem tratados dizem respeito a transmissão em CC, transmissão em CA flexível e armazenamento de energia, sendo a maioria possibilitada por dispositivos de eletrônica de potência.

PALAVRAS-CHAVE

Transmission systems, smart grids, redes inteligentes, smart transmission system, transmissão

1.0 - INTRODUÇÃO

O Sistema Elétrico de Potência permaneceu durante anos sem avanços significativos (4) em seus equipamentos e dispositivos de proteção e monitoramento. Com a ampliação de tecnologias de comunicação e a criação de medidores inteligentes de grande precisão, o sistema, até então relativamente ultrapassado, se torna mais robusto e confiável.

Os processos elétricos relacionados à transmissão, assunto tratado neste artigo, utilizam de tecnologias avançadas de eletrônica de potência para ampliar a confiabilidade, controle de fluxo de potência e transferência de energia.

As melhorias no sistema elétrico também vieram através de técnicas de armazenamento de energia e equipamentos que possibilitam a inclusão de geração renovável à rede sem maiores problemas, salientando a necessidade ambiental envolvida neste *update* no sistema.

2.0 - FACTS - FLEXIBLE ALTERNATING CURRENT TRANSMISSION SYSTEM

O dispositivos instalados nos sistemas de transmissão possuem limitações intrínsecas que precisam ser respeitadas tanto no que diz respeito ao dimensionamento das linhas, quanto no fluxo de potência destinado a determinado trecho do sistema. Essas limitações, sejam térmicas ou de estabilidade, fazem com que seja necessária a presença de um sistema de controle flexível da rede de transmissão, presença esta, evidenciada pelas FACTS, Sistemas de Transmissão Flexível em Corrente Alternada, cujos principais objetivos são:

- Aumentar a capacidade de transmissão de potência;
- Controlar o fluxo de potência. (5)

Evidentemente, com a crescente demanda de energia, o aumento da capacidade das linhas seria muito benéfico ao sistema, assim como o controle do fluxo de potência, que permitiria o balanceamento das linhas, de forma a evitar que alguns trechos fiquem sobrecarregados.

A adição de mais dispositivos de eletrônica de potência ao sistema, como compensadores, acarreta maiores perdas, o que ainda é um ponto a ser avaliado, pois é preciso saber se a carga extra proporcionada pelas FACTS é superior às perdas adicionais. Por outro lado, as FACTS aumentam a estabilidade do sistema. (5)

Com o aumento da capacidade de transmissão de energia proporcionada pelos dispositivos FACTS, torna-se mais viável a integração das diversas fontes de energia alternativas e renováveis à rede de transmissão.

Alguns tipos de dispositivos FACTS são:

- SVS (*Synchronous Voltage Source*) compensador estático nas seguintes formas:
 - TCR (*Thyristor Controlled Reactor*): Reator controlado por tiristores;
 - TSC: (*Thyristor Switched Reactor*) Capacitores manobrados com tiristores.
- TCSC (*Thyristor Controlled Series Compensation*) Compensação série controlada;
- UPFC (*Unified Power Flow Controller*) Controlador de potência ativa;
- FSC (*Fixed Series Capacitors*);
- STATCOM com armazenamento de energia. (2,6,18)

2.1 - Projetos no Brasil

Alguns principais projetos no Brasil serão citados na Tabela 1, salientando as circunstâncias em que foram instalados e quais equipamentos foram utilizados.

Tabela 1: FACTS no Brasil - Siemens. (12,13)

SISTEMA	MvAr	kV	TIPO
Ibiúna-Bateias	765	500	FSC
Imperatriz-P.Dutra	390	500	FSC
SINOP	-20/55	230	SVS
Bom Jesus da Lapa	-250/250	500	TSC/TCR
Norte Sul	~ 5 x 200	500	FSC

Com relação a custo de equipamentos FACTS, a Tabela 2 cita alguns valores típicos:

Tabela 2: Custo típico de equipamentos FACTS.

Static VAR Compensators	\$70-\$90 kVAr
Thyristor Controlled Series Compensation (TCSC)	\$100-\$150 kVAr
STATCOM	\$100-\$150 kVAr
STATCOM w/SMES	\$300-\$600 kVAr

Juntamente com as tecnologias FACTS, podemos citar os inversores inteligentes para as gerações eólica e solar. Essas gerações são entendidas como um risco para a confiabilidade e robustez do sistema, uma vez que são inconstantes por dependerem diretamente de condições ambientais para pleno funcionamento. As variações ambientais, como incidência solar e de ventos, podem causar flutuações de tensão e/ou frequência indesejadas na geração a partir dessas fontes que, conectada ao sistema, pode comprometer seu bom funcionamento.

Para amenizar estes possíveis problemas, foram criados os inversores inteligentes. Estes equipamentos são capazes de detectar as flutuações de tensão e frequência anteriormente citadas e a partir da gravidade dessas flutuações, decidir se o ramo em que instalado será ou não desconectado da rede principal, sendo desligados somente em casos de distúrbios muito significativos. Portanto, são dispositivos que têm grande potencial de incentivar a ampliação da geração distribuída a partir de fontes renováveis de energia.(3)

Para mais informações sobre FACTS, acessar (16).

3.0 TRANSMISSÃO DE ALTA TENSÃO EM CORRENTE CONTÍNUA

3.1 Abordagem geral e definições

A transmissão de energia elétrica é comumente realizada de duas maneiras, a HVAC - *High Voltage Alternating Current* - e a HVDC - *High Voltage Direct Current* -, cada qual com suas vantagens e desvantagens. Este tópico pretende analisar os prós e contras do HVDC, bem como situações nas quais este método é utilizado, além dos principais projetos no Brasil e no mundo.

A dúvida sobre qual o tipo de corrente é o mais vantajoso para transmissão de eletricidade sempre existiu, até que estudos foram capazes de descobrir sob quais circunstâncias um tipo é mais viável que o outro.

3.2 Vantagens e desvantagens

A transmissão em corrente contínua possui vários pontos positivos, sobretudo quando se trata de transmissão a longas distâncias. São eles: ausência de "Efeito Pelicular" (*Skin Effect*); capacidade de interligação de sistemas AC assíncronos; eficiente controle de fluxo de potência; capacidade de transmissão subterrânea e subaquática; torres de transmissão de menor porte. (3)

O diâmetro do condutor no HVAC é limitado pelo efeito pelicular (fenômeno exclusivo em AC), que é a tendência da corrente fluir através da fronteira do condutor, causando um aumento na resistência devido à diminuição da área por onde flui a corrente e um consequente aumento nas perdas de energia. Por outro lado, nos sistemas HVDC, as perdas nos cabos são significativamente menores devido à ausência deste efeito, portanto, os condutores podem ter maior bitola e transportarem uma potência maior.(3)

Uma alternativa para a interligação entre dois sistemas AC assíncronos é o uso do HVDC, que era a única solução para essa interligação até os recentes avanços na tecnologia dos transformadores de frequência variável. Um exemplo de interligação entre dois sistemas assíncronos é a interconexão Brasil-Argentina, que interliga os 50 Hz argentinos aos 60 Hz brasileiros.(3,6)

Diante da necessidade da ampliação da geração de energia, principalmente provenientes de fontes de renováveis, devido à crescente demanda e urgência na diminuição da emissão de gases poluentes no meio ambiente, o HVDC é a melhor opção para transmitir energia gerada a longas distâncias. Como exemplo, podemos citar as usinas eólicas em alto mar, cuja energia é transmitida através de cabos subaquáticos que transportam em corrente contínua.

A necessidade de sucessivas conversões AC/DC/AC, feitas através de dispositivos eletrônicos de alto custo, como tiristores e transistores bipolares de porta isolada (IGBT), é uma desvantagem do sistema HVDC, que o impede de ser utilizado para quaisquer distâncias. A partir de determinada distância, a economia gerada pela diminuição das perdas de energia na transmissão se iguala aos gastos com equipamentos de conversão, distância a partir da qual, o HVDC é vantajoso.(3,6) O gráfico da Figura 1 ilustra esta situação:

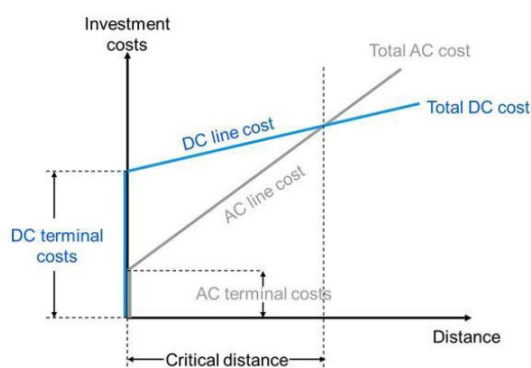


Figura 1: Comparação de custos com a distância das linhas de transmissão. (3)

3.3 Projetos no Brasil e no mundo

A Tabela 3 apresenta as principais características de alguns projetos de HVDC no Brasil e no mundo.

Tabela 3: Características de projetos de HVDC - ABB. (7)

PROJETOS	POTÊNCIA	TENSÃO AC	TENSÃO DC	COMPRIMENTO DE LINHA DC	RAZÃO DE ESCOLHA DO HVDC
Rio Madeira	- 3150 MW - Estações conversoras - 800 MW back-to-back;	Linha de transmissão: 500kV Back-to-back: 500 kV e 230 kV	± 600 kV	2375 km (aérea)	- Transmissão a longa distância; - Back-to-back: sistemas assíncronos;
Itaipu	6300 MW	500 kV (Foz do Iguaçu), 245 kV (Ibiúna)	± 600 kV	785 km + 805 km (aérea)	- Transmissão a longa distância; - Interconexão entre 50/60 Hz.

PROJETOS	POTÊNCIA	TENSAO AC	TENSAO DC	COMPRIMENTO DE LINHA DC	RAZAO DE ESCOLHA DO HVDC
Pacific Intertie	1,440 -> 1,600 -> 2,000 -> 3,100 -> 3,800 MW (2016)	- 230 kV (Sylmar), - 500/230 kV (Celilo - 2016)	$\pm 400\text{kV} \rightarrow$ $\pm 500\text{kV} \rightarrow$ $\pm 560\text{kV}$	1360 km (aérea)	Longa distância e estabilidade da rede
Dolwin 1	800 MW	- 155 kV (Plataforma Dolwin Alfa) - 380 kV (Dorpen/West)	$\pm 320\text{kV}$	2x75 km (submarina) 2x80 km (subterrânea)	Geração eólica localizada a longa distância (alto mar).
Dolwin 2	900 MW	- 155 kV (Plataforma Dolwin Beta) - 380 kV (Dorpen/West)	$\pm 320\text{kV}$	2x45 km (submarina) 2x90 km (subterrânea)	Geração eólica localizada a longa distância (alto mar).
Inga-Kolwezi	560 MW	220 kV	$\pm 500\text{kV}$	1700 km (aérea)	Geração a longa distância.
Three Gorges - Shanghai	3000 MW	500 kV	$\pm 500\text{kV}$	1060 km (aérea)	Geração a longa distância.

4.0 DYNAMIC LINE RATINGS

O dimensionamento das linhas de transmissão deve ser feito com base nas condições sob as quais a linha vai atuar. Dentre essas condições podem ser citadas as características ambientais de todo o percurso da linha, como intensidade de ventos e incidência solar. As condições ambientais são capazes de variar a capacidade de condução de corrente da linha através de aquecimentos ou resfriamentos que podem causar dilatação ou contração no condutor utilizado.

As "*Static Line Ratings*", são classificações das linhas que se baseiam nas piores condições ambientais possíveis, o que aumenta a segurança das linhas, mas também reduz significativamente a capacidade de condução de corrente do sistema em questão (3).

Sabe-se que a incidência solar e intensidade dos ventos em determinada região sofre contínuas alterações durante o dia, fato que incentivou a criação das "*Dynamic Line Ratings*", que consistem em uma análise em tempo real das condições a que a linha de transmissão está submetida. Dessa forma, os projetos de linhas devem contar com monitoramento capaz de aumentar a capacidade de condução a partir da análise dinâmica das condições ambientais, sem comprometer a segurança e a confiabilidade da rede. O monitoramento é capaz devido às subestações SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*). (3)

Pequenas variações no ambiente podem promover grandes alterações na capacidade de condução da linha. A Tabela 4 exemplifica essa informação:

Tabela 4: Melhora na condução de corrente após alteração ambiental. (3)

		Mudança na capacidade	Nova capacidade
Temperatura Ambiente	Flutuação de 2°C	+/- 2% de capacidade	
	Queda de 10°C	+ 11% de capacidade	874 Amperes
Radiação Solar	Sombra por nuvens	Poucos por cento	
	Meio da noite	+ 18% de capacidade	929 Amperes
Aumento de 1m/s de ventos	Ângulo de 45°	+ 35% de capacidade	1060 Amperes
	Ângulo de 95°	+ 44% de capacidade	1130 Amperes

4.1 Vantagens e desvantagens

Dentre as vantagens oferecidas pelas "*Dynamic Line Ratings*" podemos citar: (3,8)

- **Diminuição de congestionamento:** O monitoramento das características dinâmicas do meio possibilitam aos operadores das linhas o controle da carga que determinada linha está suprindo, tornando o sistema mais flexível. Este controle reduz o congestionamento e possível sobrecarga na rede.

- **Proteção:** O monitoramento em tempo real e de áreas muito amplas também permite que o operador tome a decisão correta em caso de mudança repentina no clima, preservando a integridade das linhas.

- **Aumento do uso da energia eólica:** Conhecida a intensidade dos ventos de uma determinada região, o operador da rede pode incluir maior quantidade de energia eólica à rede e consequentemente causar menor impacto ambiental.

- **Eficiência na transmissão.**

Entre as principais desvantagens pode-se citar a difícil manutenção em sistemas de monitoramento de condições do tempo, a baixa exatidão em previsões de direção de ventos em alguns casos e o alto custo das instalações.

4.2 Projetos

Na Tabela 5, são mostrados alguns projetos que exemplificam as "Dynamic Line Ratings":

Tabela 5: Informações sobre os projetos NYPA e ONCOR nos EUA.(3)

Projeto	NYPA	ONCOR
Custo de instalações	\$481,000	\$4,833,000
Orçamento	\$1,440,000	\$7,279,166
Duração	1/1/10 – 31/1/13	1/1/10 – 4/5/13
Localização	Três linhas de 230 kV em NY	5 linhas de 345 kV e três linhas de 138 kV no Texas

5.0 - ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

A necessidade de amplificar a eficiência e o bom uso da energia elétrica fez com que uma das sugestões apresentadas pelas redes inteligentes seja o armazenamento de energia. A contínua geração energética - de quaisquer fontes - acontece independente da demanda solicitada, de forma que em alguns casos a energia gerada é superior à energia necessária para abastecimento de determinada carga, de tal forma que o excesso de potência não é utilizado e na maioria dos casos não é armazenado, caracterizando grandes perdas. Em um momento de grande importância da redução do uso de combustíveis fósseis e outras técnicas que prejudicam o meio ambiente, é inadmissível essa perda de grande quantidade de energia, fazendo com que o armazenamento surja como uma excelente opção para o uso sustentável desse recurso.

Com a proposta já citada de armazenar energia em excesso para uso posterior, atrelada à possível aplicação de uma estrutura tarifária que varia com o consumo, e a inserção de veículos elétricos ao cotidiano - ambas propostas pelas redes inteligentes -, surgem combinações viáveis de ações a serem realizadas. O esquema da Figura 2 ilustra essa situação.

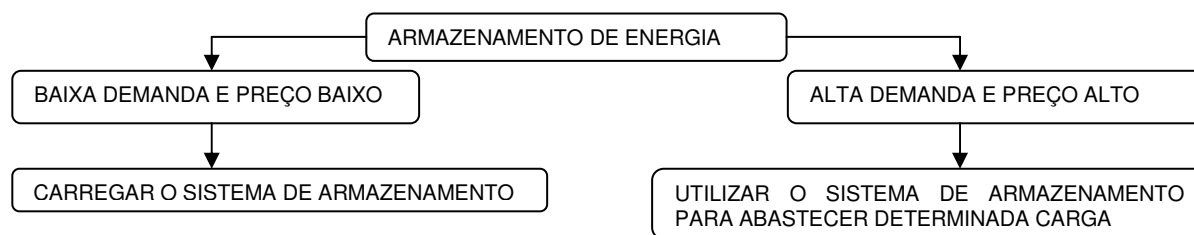


Figura 2: Esquema de ações em armazenamento de energia.

Como exemplos de casos em que o armazenamento de energia é fundamental, podemos citar a geração eólica e solar, muito influenciadas por condições meteorológicas. Desta forma, é importante que exista, anexados aos parques de geração, sistemas eficientes de armazenamento de energia que entram em atividade no momento em que a demanda da carga abastecida não necessita de toda a energia gerada para consumo imediato.

5.1 Exemplos de métodos de armazenamento de energia (3,2)

5.1.2 Grandes quantidades de energia

- **Ar comprimido:** Utiliza-se o excesso de energia gerada para comprimir ar no subsolo sob altas pressões, geralmente em cavernas de material poroso. Quando a energia armazenada é necessária, o ar comprimido aciona turbinas conectadas a geradores. É uma boa opção para aproveitar a energia proveniente, por exemplo, dos ventos noturnos, em geral, mais intensos do que os de outros momentos do dia.

- **Bombeamento de água:** É um método eficiente e ecologicamente viável. O excesso de energia gerada é utilizado para acionar uma bomba que transporta água para um reservatório em terreno elevado. Quando há necessidade extra de energia, o reservatório é aberto, a queda d'água aciona uma turbina conectada a um gerador e a energia é transformada e enviada à carga.

5.1.3 Pequenas quantidades de energia

- **Baterias:** Funcionam a partir da movimentação de íons no interior de células químicas. Podem ser constituídas de eletrodos de vários elementos, cada qual com suas vantagens e desvantagens. A Tabela 6 mostra detalhes de cada tipo de bateria.

Tabela 6: Características de algumas baterias. (3,18,19)

Tipo	Eficiência (%)	Vida útil (ciclos)	Custo de potência (\$/kW)	Custo de energia (\$/kWh)	Estado
Lítio-íon	85 - 90	1000 - 10000	175 - 4000	500 - 2500	Comercial
Sodium-sulfur	70 - 90	2500 - 25000	150 - 3000	250 - 500	Comercial
Vanadium-Redox	60 - 85	12000 - 14000	175 - 1500	150 - 1000	Desenvolvido
Níquel-Cádmio	60 - 70	800 - 3500	150 - 1500	600 - 1500	Comercial

- **Flywheels ou volantes de inércia:** Se trata de um volante inércia de grande massa que é capaz de acumular energia cinética. O volante é conectado à rede a fim de drenar a energia elétrica excedente gerada, que é transformada em energia mecânica através de um motor, fazendo com que o volante gire a altas velocidades. Quando a energia armazenada é solicitada, a máquina acoplada ao dispositivo passa a atuar como gerador e transforma a energia mecânica em eletricidade, que suprirá determinada carga. (3,2,18)

- **SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage):** É uma bobina supercondutora (possui resistência aproximadamente nula a temperaturas criticamente baixas) capaz de armazenar energia no campo magnético gerado pela corrente elétrica a que é submetida. Um sistema SMES é constituído por uma bobina supercondutora, um sistema criogênico, conversor eletrônico, além de sistema de proteção e controle. (9,17,18)

A Figura 3 mostra mais exemplos de dispositivos armazenadores de energia, bem como suas aplicações, potência e tempo possível de abastecimento.

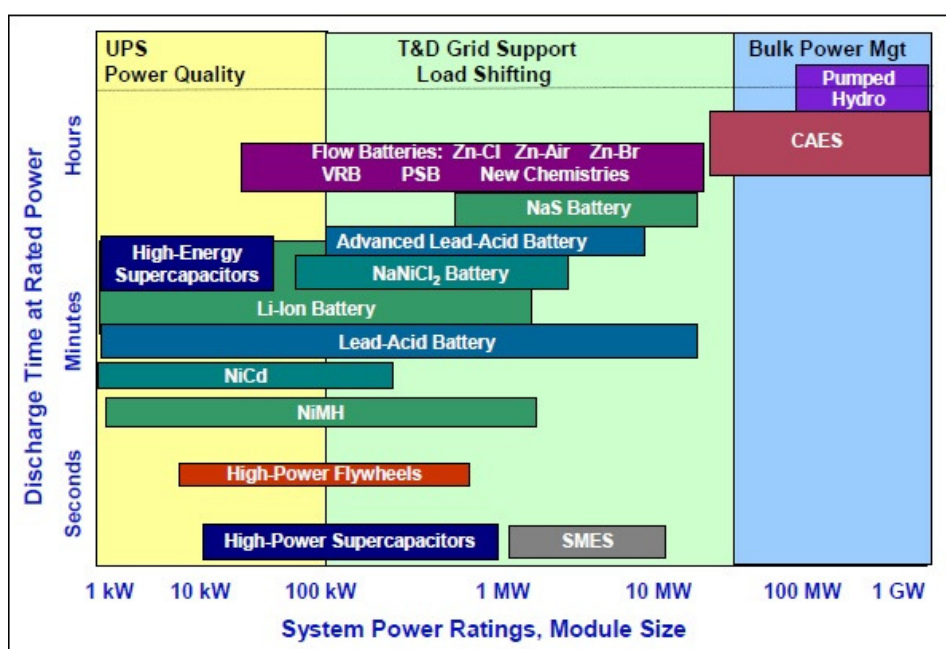


Figura 3 - Tecnologias de armazenamento e suas características (10)

5.2 Aplicações do armazenamento de energia: (3)

Em qualidade de energia, o armazenamento auxilia em:

- Mitigar flutuações de tensão;
- Controle de harmônicos;
- Regulação de tensão e controle de frequência;
- Adicionar confiabilidade à geração solar e eólica em situações meteorológicas desfavoráveis;
- Aliviar o congestionamento em circuitos de transmissão e distribuição

5.3 Projetos piloto internacionais de armazenamento aplicados a sistemas de transmissão

Na Tabela 7 são mostrados dois exemplos de projetos piloto de armazenamento de energia aplicados a transmissão.

Tabela 7: Projetos pilotos de armazenamento. (14,15)

Nome	Descrição	Tecnologia	Potência Nominal	Duração	Local	Situação
Três Amigas	Três Amigas conectará três redes elétricas nos Estados Unidos, permitindo a venda de energia entre estados. O armazenamento permitirá regulação de serviços complexos.	Advanced Lead Acid Battery	100 kW	2h	Clovis, New Mexico, Estados Unidos	Contratado
Southern California Edison Tehacapi Wind Energy Storage Project	Projeto é patrocinado pelo ARRA, para avaliar um sistema de 8 MW, quatro horas (32 MWh) bateria de lithium-ion para melhora do desempenho da rede juntamente a integração de fontes renováveis ligados ao sistema de Transmissão da Southern Califórnia Edison	Lithium Ion Battery	8000 kW	4h	Tehacapi, Califórnia, Estados Unidos	Operacional

6.0 SINCROFASORES - PMUs

A eficiência e a confiabilidade dos sistemas elétricos são possíveis devido não somente à implementações de eletrônica de potência, como no caso das FACTS e HVDC, mas também estão relacionadas à equipamentos de alta tecnologia capazes de estabelecer comunicação entre dispositivos em diferentes pontos do sistema, denominados IEDs (*Intelligent Electronic Devices*). Um exemplo de IED é o PMU (*Phasor Measurement Unit*), que conta com a tecnologia dos sincrofasores para obter dados de grandezas fasoriais que permitem o monitoramento do sistema em tempo real e em qualquer ponto desejado. Em geral, a rede elétrica conta com subestações SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) que cumprem a função de monitoramento anteriormente citada e, desta forma, promove mais controle e segurança à rede. (3)

Os dados são obtidos pelos PMUs e transmitidos a outros dispositivos que concentram todos os dados, analisam e posteriormente tomam as decisões, caso necessárias, para o bom funcionamento e controle da rede. A Figura 4 ilustra essa situação:

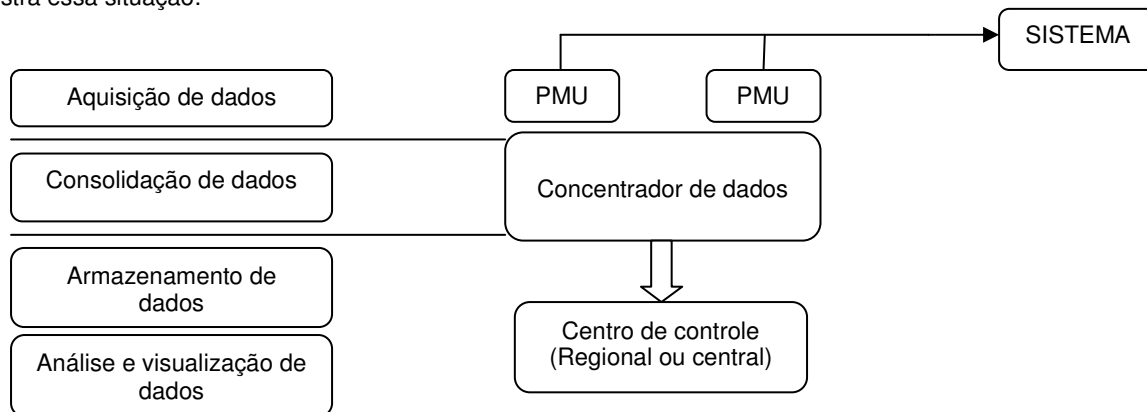


Figura 4: Funcionamento dos IEDs/PMUs. (3)

O amplo monitoramento proporcionado pelos PMUs garante uma série de benefícios à rede de eletricidade, alguns deles são: detecção de oscilações de tensão e frequência; controle de carga através da análise das condições atuais da rede; reconstrução de eventos de falhas para análise posterior.

A Tabela 8 mostra algumas incidências dos usos de PMUs e seus respectivos custos:

Tabela 8: Exemplos de projetos envolvendo PMUs. (3)

PROJETO	NOVOS PMUs INSTALADOS	CONTRIBUIÇÃO FEDERAL (\$1000s)	CUSTO TOTAL (\$1000s)
American Transmission Company	6	\$12,775	\$25,550
Duke Energy Carolinas	102	\$3,925	\$7,856
ISO-New England	30	\$3,722	\$8,519
Midwest Independent Transmission System Operator	>150	\$17,272	\$34,543
Western Electricity Coordinating Council	>250	\$53,890	\$107,780

7.0 CONCLUSÃO

Qualquer projeto ou tendência nos ramos da engenharia atual possui como objetivo primário a otimização de determinado processo com o menor impacto ambiental possível e com custo financeiro viável. Todas as tecnologias citadas anteriormente tem o objetivo de trazer benefícios para o sistema de transmissão, dentre os quais pode-se citar o aumento da confiabilidade e do controle da rede elétrica. Obviamente, por contarem com recursos de alta tecnologia, esses avanços exigem um alto investimento inicial, fator que às vezes é obstáculo para a implementação. Portanto, é de suma importância a realização de uma análise concreta sobre as condições sob as quais se deseja implantar determinado projeto de otimização, de forma que os investimentos realizados sejam corretamente dimensionados e que as melhorias no sistema sejam significativas.

8.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Li, Fangxing ; Qiao , Wei; Sun, Hongbin; Wan, Hui ; Wang, Jianhui ; Xia, Yan; Zhang, Zhao Xu and Pei ; "Smart Transmission Grid: Vision and Framework".2010.
- (2) Ekanayake, Janaka et al. Smart Grids - Technology and Applications, Wiley, United Kingdom, 2012.
- (3)Chaudhry, Usman M.;"Survey of Emerging Transmission Technologies". <http://cleanenergytransmission.org/transmission-technology-series/>. Acesso em 14/10/2014.
- (4) Güngör, Vehbi C.; Sahin, Dilan; Kocak, Taskin; Ergüt, Salih; Buccella, Concettina; Cecati, Carlo; Hancke, Gerhard P. ; "Smart Grids Technologies: Communication Technologies and Standards". 2011.
- (5) Watanabe,Edson H.;Barbosa,Pedro G.;Almeida,Katia C.; Taranto, Glauco N.;"Tecnologia FACTS - Tutorial".SBA Controle & Automação, 1998.
- (6) Sood ,Vijay K.. HVDC and FACTS Controllers - Applications of Static Converters in Power Systems -.Kluwer Academic Publishers,Boston,2004.
- (7) new.abb.com/systems/hvdc/references, acesso em 20/11/2014.
- (8) Smart Grid Demonstration Project–Dynamic Line Rating(DLR) –Oncor Electric Delivery,Texas Reliability Entity. 2011.
- (9)Carmo,Marlon José do;Sass,Felipe;Ferreira,Antônio Carlos; Andrade Jr.,Rubens de ;"Armazenadores de Energia Magnéticos Supercondutores-SMES:Aplicações,Viabilidade Técnica e Econômica."Congresso Brasileiro de Automática,2012.
- (10) Akhil, Abbas A.; Huff, Georgianne; Currier, Aileen B.; Kaun, Benjamin C.; Rastler, Dan M.; Chen, Stella Bingging; Cotter, Andrew L.; Bradshaw, Dale T.; Gauntlett, William D. "DOE/EPRI 2013 Electricity Storage Handbook in Collaboration with NRECA". Sandia National Laboratories.
- (11) Hydro Tasmania Consulting, Dynamic Transmission Line Rating - Technology Review. Australia, 2009.
- (12) www.energy.siemens.com/br/pool/hq/power-transmission/facts/facts_references_svc.pdf. Acesso em 14/10/2014.
- (13) www.energy.siemens.com/br/pool/br/transmissao-de-energia/facts/series-compensation-references.pdf. Acesso em 14/10/2014.
- (14) www.energystorageexchange.org/projects/7, acesso em 15/12/2014.
- (15) www.smartgrid.gov/project/southern_california_edison_company_tehachapi_wind_energy_storage_project, acesso em 15/12/2014.
- (16) Rahman, Shah Arifur; Mahendra AC; Varma, Rajiv k.; Litzenberger, Wayne H. "Bibliography of FACTS, 2012-2013: IEEE Working Group Report.
- (17) Arsoy, A.B.; Lyu, Y.; Ribeiro, P.F.; Wang, F. "Static-Synchronous Compensators and Superconducting Magnetic Energy Storage Systems in Controlling Power System Dynamics.
- (18) Ribeiro, P.F.;Johnson, Brian K.;Crow, Mariesa L.; Arsoy, Aysen; Liu, Yilu. "Energy Storage Systems for Advanced Power Applications".
- (19) Karasik , V.; Dixon, K.; Weber, C.; Batchelder , B.; Campbell, G.; Ribeiro, P.F.; "SMES For Power Utility Applications: A Review of Technical and Cost Considerations".

9.0 DADOS BIOGRÁFICOS

Paulo Augusto Pinto Oliveira, nascido em 29 de junho de 1993, é graduando em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI - Campus Itajubá. Atualmente, participa de programa de iniciação científica no CERIn - Centro de Excelência em Redes Elétricas Inteligentes, com vínculo com o Instituto Nacional de Energia Elétrica - INERGE/CNPq, sendo orientado pelo professor Paulo F. Ribeiro.



Roberto Silva Netto, nascido em 16 de setembro de 1975, possui graduação em Engenharia Elétrica e mestrado pela Universidade Federal de Itajubá e é doutorando pela UNIFEI. Atualmente é pesquisador bolsista CAPES - UNIFEI no CERIn - Centro de Excelência em Redes Elétricas Inteligentes (Smart Grids), onde realiza estudos sobre TIC aplicada a Smart Grids. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Sistemas de Comunicação e Desenvolvimento de Software, atuando principalmente nos seguintes temas: segurança da informação, vulnerabilidades, gerenciamento, SNMP, Netflow, QoS, Análise de Tráfego, SmartGrid, Frameworks de Redes Elétricas Inteligentes, IEC 61850, IEC 62351.



Paulo F. Ribeiro, nascido em 14 de novembro de 1952. Professor Titular Livre na Universidade Federal de Itajubá, graduado pela Universidade Federal de Pernambuco, e PhD pela Universidade de Manchester, Inglaterra. É Fellow do IEEE e IET.

