

Conceitos inovadores para sistemas de distribuição eficientes

Torsten Hammerschmidt (RWE Deutschland), Torsten Borchard (ABB), Jörg Feldmann (Consentec), Astrid Petermann (RWE Rhein-Ruhr Netzservice), Christian Rehtanz (Universidade de Tecnologia de Dortmund) – Alemanha

O projeto “Redes de Fornecimento de Eletricidade do Futuro” pesquisou e desenvolveu soluções econômicas para sistemas de distribuição sustentáveis. Abordagens inovadoras foram identificadas e avaliadas, sendo que as mais promissoras foram demonstradas em uma rede real e constituirão uma solução comercial. O artigo apresenta os resultados e delineia as redes de distribuição que serão necessárias em 2030.

Para se utilizar energia renovável, esta deve ser explorada onde e quando estiver disponível. Assim, é necessário um número enorme de unidades de geração distribuídas. Devido à sua potência nominal, elas são geralmente conectadas no nível de distribuição de eletricidade. Isso obriga a um reprojeto das redes de distribuição com relação a um fornecimento de energia econômico e eficiente, uma vez que tais redes não são otimizadas para uma forte injeção de energia vinda do lado das cargas (*feed-in*).

Na Alemanha, a exploração *onshore*

da energia eólica aumentou rapidamente nos últimos 10 anos, mas deve haver um menor crescimento no futuro (figura 1). O principal desenvolvimento da energia eólica é previsto acontecer *offshore*, porém isso não influencia as redes de distribuição existentes. Entretanto, uma tecnologia de geração elétrica está afetando bastante as redes com seu crescimento: a energia solar, cuja expansão principal ocorrerá nos próximos 10 anos [1, 2].

Para cobrir as demandas crescentes, a expansão da rede de distribuição é sempre uma solução adequada. Mas é eficiente? As operadoras do sistema de dis-

tribuição (OSD) na Alemanha são compelidas pela regulação de incentivos [3] a implementar estruturas de redes eficientes. Portanto, as demandas devem ser previstas com exatidão, de modo a ajustar a quantidade mínima necessária de equipamentos. Por outro lado, os avanços tecnológicos devem ser levados em conta, pois podem possibilitar soluções mais fáceis e menos dispendiosas. Por exemplo, o desenvolvimento dos dispositivos de eletrônica de potência trouxe um aumento de funcionalidades e diminuição de preços nas últimas décadas. Isso aumenta as possibilidades de disseminação da utilização no fornecimento de energia. Portanto, as concepções de redes devem ser revistas periodicamente.

Projeto de rede do futuro

O fornecimento de eletricidade tem de oferecer duas funcionalidades principais. Em primeiro lugar, geração e carga de eletricidade devem estar sempre equilibradas, e muitos pro-

O primeiro protótipo de condicionador ativo para instalação ao tempo — por meio de eletrônica de potência, o equipamento fornece ou absorve tensão, com o objetivo de obter tensão operacional de saída constante



jetos já trabalham em soluções para essa tarefa [4]. Em segundo lugar, os fluxos de energia injetados pelo consumidor devem ser gerenciados economicamente e sem restrições. Esse é o foco do projeto “Redes de Fornecimento de Eletricidade do Futuro”, apoiado pelo Ministério Federal de Economia e Tecnologia da Alemanha. O projeto combina o *know-how* da RWE Deutschland como operadora de rede de distribuição, da ABB como fabricante de equipamentos para sistemas elétricos, da Consentec como especialista em avaliação econômica de redes elétricas, e da Universidade de Tecnologia de Dortmund como instituição de pesquisa em engenharia elétrica.

O projeto considerou o desenvolvimento do fornecimento energia até 2030, por causa dos longos tempos de depreciação dos sistemas elétricos. Assim, a gestão de ativos deve estabelecer o curso hoje para que novos desafios, como a conexão da energia renovável, conduzam a uma rede de distribuição eficiente no futuro.

Os objetivos do projeto são identificar, avaliar e demonstrar soluções econômicas para redes de distribuição sustentáveis. Especialmente a demonstração, no mundo real, de conceitos inovadores para redes eficientes é uma parte importante do projeto. Durante o tempo do projeto, de julho de 2009 a junho de 2011, cerca de € 3 milhões foram investidos na rede de distribuição de demonstração, que fornece um esboço de projeto de *smart grid*.

Equipamentos inovadores

As futuras redes de distribuição ainda utilizarão, principalmente, as atuais tecnologias para proporcionar um fornecimento de energia eficiente. No entanto, equipamentos novos têm de ser identificados com base nas tendências correntes e abordagens técnicas inovadoras, de modo a assegurar a realização e eficiência dos futuros conceitos de rede. Especialmente no sistemas rurais, equipamentos novos ou adaptados podem ser mais eficientes em comparação com a expansão de rede convencional, porque restrições de tensão são mais relevantes do que o carregamen-

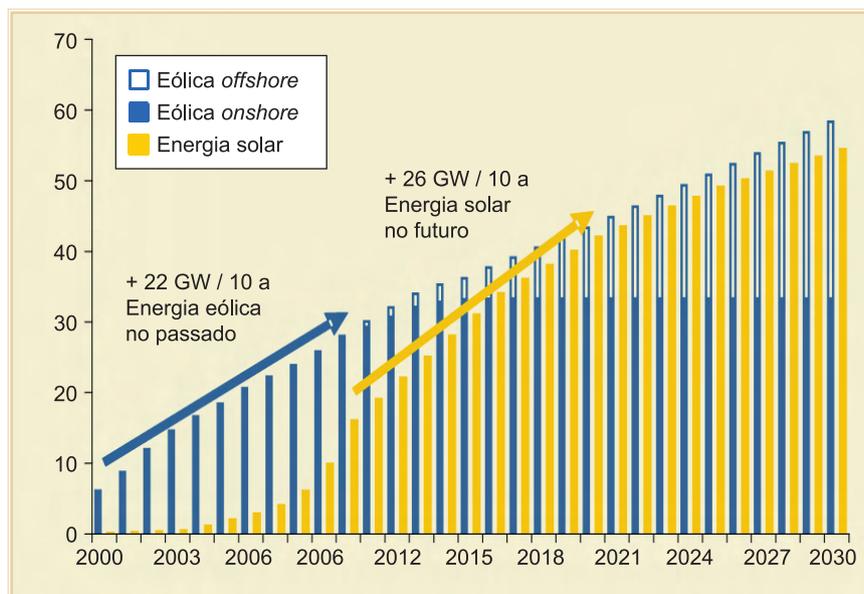


Fig. 1 – Geração renovável na Alemanha

to nominal do equipamento. Portanto, vários reguladores de tensão para redes de distribuição, com base em diferentes tecnologias, são analisados e desenvolvidos.

Regulador de tensão contínuo

O comutador de taps sob carga e o condicionador de tensão ativo (AVC, do inglês *active voltage conditioner*) são avaliados, técnica e economicamente, como unidades de controle contínuo de tensão. Ao invés de alterar a relação de transformação com um comutador de taps, o AVC alimenta ou absorve uma tensão adicional via eletrônica de potência, para obter uma tensão operacional de saída constante [5].

Embora o AVC tenha sido projetado para proteção contra afundamentos de tensão em aplicações industriais, diversos de seus benefícios também podem ser estendidos às distribuidoras de energia elétrica, como por exemplo sua cons-

trução modular, a independência em relação a qualquer transformador e o controle de tensão contínuo, rápido e sem degraus. Múltiplos AVCs com diferentes especificações de potência foram desenvolvidos posteriormente para as necessidades das distribuidoras e testados pela primeira vez na rede de distribuição de demonstração. Na página 112 é mostrado o primeiro protótipo de AVC de baixa tensão para utilização ao tempo.

Controlador de área ampla

Geralmente, os controladores de tensão ajustam a tensão, no lado secundário do equipamento, para um valor fixo. Em contraste, um controlador de área ampla monitora diversos nós críticos na rede via telecontrole (figura 2). O objetivo do controlador de área ampla não é regular a tensão de operação de um único nó para um valor constante, mas conduzir a tensão de todos os nós críticos dentro de uma determinada faixa.

Análises com o programa *Neplan* mostraram que o controlador de área ampla pode ser um modo útil de regular a tensão, porém vários aspectos têm de ser levados em conta, como, por exemplo, manobras na rede ou alterações das características de carga/*feed-in*, em relação aos nós críticos e observáveis.

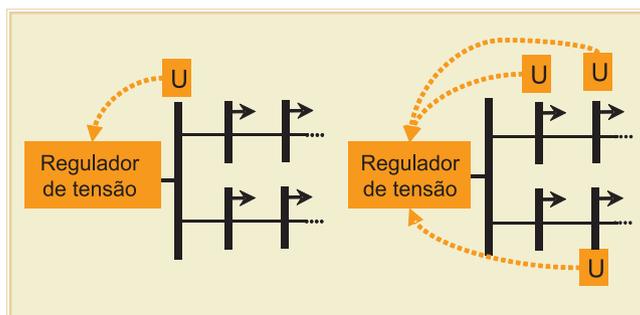


Fig. 2 – Regulação de tensão convencional versus regulação por área

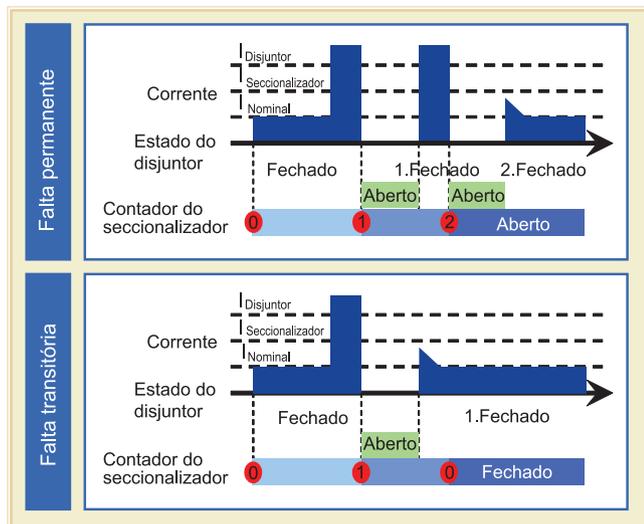


Fig. 3 – Esquema de disparo de um seccionizador

Seccionizador eletrônico

O seccionizador eletrônico aqui considerado pode ser interpretado, por sua funcionalidade, como um disjuntor de baixo custo para dividir as camadas de fornecimento dentro do conceito de fornecimento por alimentador principal. Usado em ramais mais longos, ele ajuda a manter a constante de confiabilidade em um nível de referência. O seccionizador diferencia entre falhas permanentes e temporárias e abre, no caso de uma falha permanente, durante o re- fechamento automático do disjuntor a montante, na subestação de transformação (figura 3).

Até agora, o seccionizador tem sido majoritariamente implementado em redes rurais fora da Europa. Portanto, o equipamento tem de ser aperfeiçoado para atender a todas as restrições técnicas (por exemplo, potência de curto-circuito) de uma ampla utilização nas redes europeias.

Conceitos de rede inovadores

Um conceito inovador pode ser a combinação de equipamentos novos e convencionais, mas também uma nova estratégia de arranjo para os equipamentos convencionais. Assim, um conceito de rede descreve uma solução da tarefa de fornecimento de energia. O referencial econômico para cada abordagem inovadora é a expansão da rede convencional. Todos os conceitos identificados e analisados podem ser classificados em quatro grupos, que são explanados pelos conceitos concretizados na rede de demonstração.

Tecnologia da informação e comunicação

A utilização de tecnologia da informação e comunicação (TIC) é, frequentemente, considerada como o componente principal de uma futura rede inteligente, mas na verdade é apenas uma parte dela.

A TIC ajuda a reconstituir a observabilidade da rede sob uma elevada quantidade de *feed-in* renovável. Por conseguinte, ela é eficaz para medir a tensão, a potência ativa e reativa e o sentido do fluxo de energia em alguns pontos críticos conhecidos na rede. Como alternativa, esses valores podem ser colhidos de geradores renováveis principais. O processamento de ambas as fontes no sistema de controle é suficiente e não afeta a privacidade do cliente.

Um outro subgrupo de conceitos de TIC refere-se à otimização ativa da rede nos limites de carga. A comutação de taps otimizada por controladores de área ampla pertence a esse grupo, que permite mais conexão de geração renovável nas redes existentes.

Disposição de recursos de armazenamento

Um dispositivo de armazenamento pode ser operado em coordenação com aspectos da rede se for controlado pelo fluxo de carga e/ou nível de tensão local. Em combinação com geradores renováveis flutuantes, o fluxo de potência pode ser homogeneizado e a faixa de tensão utilizada é menor. Este ponto é especialmente relevante em redes de

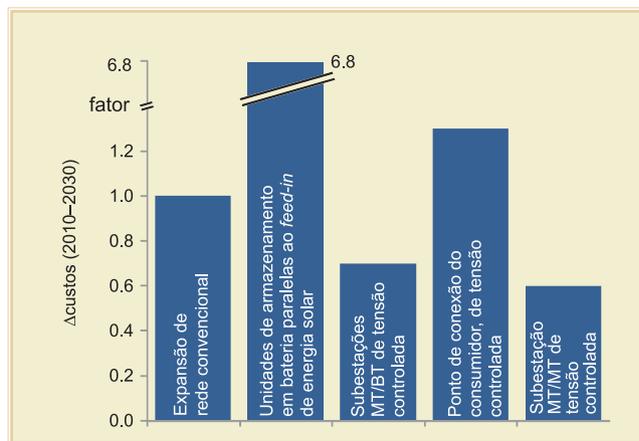


Fig. 4 – Custo de diferentes conceitos de rede

distribuição rural extensas. O controle de potência reativa já ajuda a ampliar os limites de tensão, porém o controle de potência ativa é mais poderoso e pode ser utilizado para atingir os limites de tensão e de capacidade de transporte, simultaneamente.

Unidades de armazenamento em baterias podem ser utilizadas para esse fim, porém elas ainda são dispendiosas e seus ciclos são limitados. O gás natural é fácil de ser armazenado com alta densidade energética, entretanto, em regiões rurais, ele depende das instalações de geração a biogás existentes. Evitar a geração a biogás em tempos de, por exemplo, alimentação de energia solar para a rede, funciona como um dispositivo de armazenamento de eletricidade virtual e constitui um conceito inovador.

Controle de tensão local para explorar a capacidade de transporte da rede

Um outro conceito para o controle de tensão local utilizando potência ativa e reativa consiste em ajustar a qualidade da energia por meio de reguladores de tensão eletrônicos. Consiste em fixar a tensão próxima ao cliente e permitir uma grande faixa de tensão na rede pré-localizada. Isso permite a conexão de muitos geradores renováveis à rede existente, que hoje é otimizada para utilizar toda a faixa de tensão no lado de carga.

Camadas hierárquicas de alimentação no nível de média tensão

Dois níveis de alimentação de potência são praticados no nível de média tensão, quando as partes correspondentes da rede seguem conceitos diferentes. Um

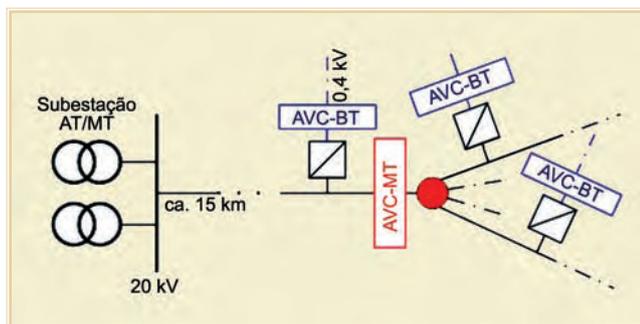


Fig. 5 – Localização dos AVCs na rede de demonstração

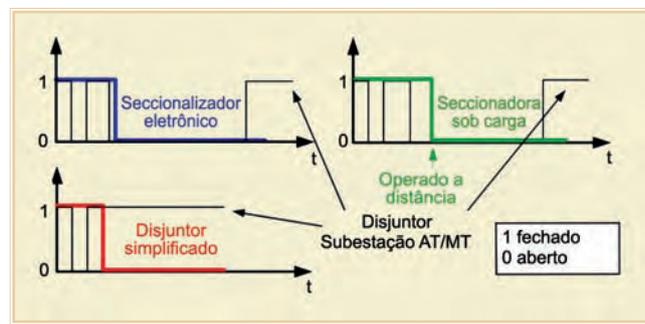


Fig. 6 – Sequências de operação das chaves

exemplo disso é a execução de limites de tensão distintos em ambas as partes da rede. Uma outra diferenciação entre os níveis é possível em relação à seção transversal ou do tipo de equipamento. Com cabos de alta capacidade no primeiro nível, alguns pontos na rede podem ser providos de uma elevada potência de curto-circuito. Em combinação com chaves entre o primeiro e o segundo nível (por exemplo, seccionizadores eletrônicos), um sistema de média tensão de *backbone*, potente e confiável, pode ser obtido, de modo a reforçar o *feed-in* de energia renovável sem necessidade de reconstrução extensiva da rede. Esse conceito, denominado de fornecimento por alimentador principal com partes da rede separáveis por meio de seccionizadores eletrônicos, também foi implementado em aplicação real na rede de demonstração.

Método de avaliação

O objetivo das avaliações foi analisar os conceitos de rede inovadores descritos acima em relação a critérios técnicos e econômicos. Ao mesmo tempo, tais investigações serviram para determinar a necessidade de um maior avanço nos métodos de avaliação e ferramentas de software existentes.

As investigações foram realizadas aplicando-se (entre outros recursos) a assim chamada “análise de rede de referência” (RNA - *reference network analysis*). A RNA é uma ferramenta que determina as redes-alvo ideais em termos de custo, levando em conta uma descrição geográfica detalhada da tarefa de fornecimento, restrições técnicas (por exemplo, limites de tensão) e as diretrizes referentes aos conceitos de rede considerados. Para se chegar às recomendações orientadas pela prática, devem ser levadas em conta as redes existentes e as medidas de reestru-

turações necessárias para atender às futuras atribuições do fornecimento de energia (isto é, o aumento da geração distribuída, principalmente).

Como exemplo de resultado dessas análises, a figura 4 mostra a soma dos custos das medidas de reestruturação, entre 2010 e 2030, aplicando-se diferentes conceitos de rede em uma área rural.

Os resultados mostram que o custo das medidas de reestruturação necessárias pode ser diminuído consideravelmente aplicando-se conceitos de rede inovadores, ao invés do conceito convencional. Tais análises foram realizadas para diferentes tarefas de fornecimento. Os principais resultados indicam que a regulação de tensão inovadora em redes rurais é lucrativa, e essa vantagem pode ser concretizada utilizando-se os vários conceitos e equipamentos expostos acima.

Além disso, essas simulações mostraram que nem todas as características de todos os conceitos de rede inovadores podem ser analisadas de maneira abrangente aplicando-se os métodos e ferramentas de avaliação existentes. Revisões adicionais devem ser integradas pela otimização da ferramenta de software RNA — por exemplo, que permita comparar subestações MT/BT com controle de tensão e reforço da rede convencional com respeito à eficácia em termos de custo.

Rede de testes

A rede de demonstração está localizada principalmente no distrito administrativo de Bitburg-Prüm, que é uma área rural na parte ocidental da Alemanha. Essa área tem uma baixa carga e é altamente permeada de *feed-in* de energia renovável na baixa e média tensão. As características da área e da rede são as seguintes:

- 5500 habitantes, área de 70 km² ;

- 10 km de linhas subterrâneas e 84 km de linhas aéreas;
- 74 subestações de MT/BT;
- 4,5 MWp de energia solar instalados;
- 6,5 MW de energia eólica instalados;
- 9,0 MW de carga instalada; e
- 3,0 MW de carga simultânea máxima.

Todos os quatro grupos de conceitos inovadores mencionados acima estão contemplados no local de demonstração.

TIC

As vantagens da TIC nos níveis de baixa e média tensão são demonstradas observando-se os valores de tensão e potência nos principais geradores renováveis e nos pontos centrais na rede. Constatou-se que cerca de 30 pontos de medição são suficientes para uma operação aprimorada da rede. Além disso, a simultaneidade da geração renovável no nível de BT é determinada empregando-se as medições transmitidas por TIC dos pontos de conexão dos geradores, das subestações de MT/BT e AT/MT.

Implementação de dispositivos de armazenamento

Uma unidade de geração de biogás é aprimorada com a adição de armazenamento de gás a baixa pressão, e é operada de modo a evitar *feed-in* de eletricidade nos períodos em que a produção de energia solar é muito alta. Isso reduz os custos da rede e aumenta a capacidade desta para receber geração adicional.

Controle de tensão local

O controle de tensão local é testado extensivamente mediante instalação de sete AVCs. Esses equipamentos são integrados em diferentes posições no sistema de distribuição (figura 5), do nível de MT para o de BT, em pontos de conexão de casas individuais.

Camadas hierárquicas de fornecimento

A fim de demonstrar as camadas hierárquicas de fornecimento dentro da rede de demonstração, uma forte linha subterrânea de *backbone*, com comprimento de 8,5 km, foi construída, e as linhas aéreas já existentes foram conectadas a ela segundo três diferentes conceitos de comutação. A funcionalidade do seccionizador eletrônico anteriormente mencionado será comparada com uma seccionadora sob carga operada a distância e um disjuntor simplificado. As diferentes sequências de operação no caso de faltas nas linhas aéreas são mostradas na figura 6.

Conclusão

Muitas abordagens inovadoras para projeto de rede de distribuição são avaliadas e focadas em conceitos de rede e equipamentos avançados neste projeto. As abordagens mais promissoras, tais como regulação de tensão próxima ao cliente, armazenamento virtual de eletricidade, rede de *backbone* com partes seccionáveis e TIC, são apresentadas neste artigo. Elas ampliam a utilização da capacidade da rede existente sob o aspecto da eficiência, e são demonstradas em uma rede real.

Todas as soluções apresentadas foram customizadas às especificações das distribuidoras de eletricidade e constituirão uma solução comercial para a realização de uma rede de distribuição alternativa.

Referências

- [1] Wenzel, B.; Nitsch, J. (DLR, Stuttgart; IWES, Kassel; IFNE, Teltow): *Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der Erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global*. Ministério Federal do Meio Ambiente, Conservação da Natureza e Segurança Nuclear da Alemanha, Berlim, 2010.
- [2] Schlesinger, M.; Lindenberger, D.; Lutz, C.; Prognos, B. (EWI, Colônia; GWS, Osnabrück): *Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung*. Ministério Federal de Economia e Tecnologia da Alemanha, Berlim, 2010.
- [3] Governo Federal da Alemanha: *Lei de Regulação de Incentivo de Redes de Fornecimento de Energia*. www.juris.de, Ministério Federal da Justiça, Berlim, 2007.
- [4] Ministério Federal de Economia e Tecnologia da Alemanha: *Programa E-Energy*. www.e-energy.de, Berlim, 2008.
- [5] Gwisdorf, B.; Borchard, T.; Hammerschmidt, T.; Rehtanz, C.: *Technical and economic evaluation of voltage regulation strategies for distribution grids with a high amount of fluctuating dispersed generation units*. 2010 IEEE Conference on Innovative Technologies for an Efficient and Reliable Electricity Supply, Boston, 27 a 29 de setembro de 2010.
- [6] www.abb.de/neplan

Trabalho apresentado no Cired 2011 - 21st International Conference on Electricity Distribution, realizado de 6 a 9 de junho, em Frankfurt, Alemanha.

CABOS
automotivos
residenciais
industriais
telefonia
telecomunicações

www.cablana.com.br

Fábrica Telecom - Av. Américo Simões, 1400 - Itupeva-SP - Fone. II 2175-9250

Fábrica Energia - Estr. Vinhedo/Viracopos, Km 80,5 - Itupeva-SP - Fone. II 2175-9200

Escritório e Vendas - Rua Antônio Raposo, 186 cj. 112 - São Paulo-SP - Fone. II 3587-9590
e-mail: vendas@cablena.com.br