

Análise da Operação Isolada de um Sistema de Distribuição com Geração Distribuída –

O Caso HIDROPAN

Eduardo Knorr

Hidroelétrica Panambi S.A.
Rua 7 de Setembro 918
98280-000 – Panambi – RS
Fone: 55 3375-4722
e-mail – eduardo@hidropan.com.br

Erico B. Spier

GSEE - Grupo de Sistemas de Energia Elétrica
Av. Ipiranga 6681, Prédio 30, Bloco 5 Sala 215
90619-900 – Porto Alegre – RS
Fone: 051 3320-3594
e-mail: lemos@ee.pucrs.br

Flávio A. Becon Lemos

Palavras-chave – Geração Distribuída, Ilhamento de sistemas de distribuição, Operação Isolada,

Resumo - Este artigo apresenta um estudo sobre a operação ilhada do sistema HIDROPAN, em consequência de uma manutenção programada da linha de transmissão que supre esta empresa, o desligamento dessa linha foi aproximadamente de quatro horas, o que causou o corte de fornecimento para os clientes dessa empresa. Entretanto, parte dos clientes foi atendida através da geração distribuída presente no sistema, sendo 2 usinas próprias (1 MVA cada) e um produtor independente (1 MVA), o que possibilitou que aproximadamente 30% da carga fosse atendida. O sistema HIDROPAN é composto de 3 conjuntos de consumidores (2 urbanos e um rural). São realizadas simulações, análises e comentários sobre as questões de estabilidade e controle de tensão para permitir uma operação segura e confiável para a condição de operação ilhada, desse sistema.

1. INTRODUÇÃO

A reestruturação do setor elétrico verificada em vários países, entre os quais o Brasil, vem proporcionando um aumento considerável no interesse de empresas em investir em produção de energia elétrica. Esta nova ordem levou ao surgimento de um novo agente chamado de Produtor Independente de Energia (PIE), o qual foi regulamentado pela Lei 9074/95, Lei das Concessões. A Figura do Produtor Independente de Energia, juntamente com o Autoprodutor de Energia Elétrica (APE) teve a atividade regulamentada através do Decreto nº2003, de 10 de setembro de 1996. Este decreto define, entre outras, que o produtor independente, constitui-se de pessoa jurídica ou consórcio de empresas que recebem concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia produzida, por sua conta e risco. O decreto também definiu o autoprodutor como pessoa física, jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebem concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo. Este mesmo decreto estabelece ainda a garantia de acesso aos sistemas de distribuição para a utilização e a comercialização da energia produzida. Desta forma, o produtor independente e o autoprodutor tem assegurado o

livre acesso aos sistemas de transmissão e de distribuição de concessionários e permissionários de serviço público de energia elétrica, mediante o ressarcimento do custo de transporte envolvido.

A Resolução ANEEL nº281/99 regulamenta a contratação do acesso, compreendendo o uso e a conexão, aos sistemas de transmissão e de distribuição pelos produtores independentes e autoprodutores de energia elétrica. Esta resolução tem como objetivo incrementar a oferta ao mercado constituindo-se como instrumento básico de competição nos segmentos de geração e comercialização de energia elétrica possibilitando a comercialização direta entre produtores e consumidores, independente de suas localizações no sistema elétrico interligado. Após a regulamentação do APE e do PIE e da definição das condições de acesso destes agentes, foi necessário definir a capacidade de reserva para o atendimento de unidades consumidoras conectadas a autoprodutores e produtores independentes. Esta capacidade de reserva é o montante de potência, em MW, requerido dos sistemas de transmissão e distribuição quando da ocorrência de interrupções ou reduções temporárias na geração de energia elétrica das usinas de autoprodutor ou produtor independente, a qual foi regulamentada pela Resolução ANEEL nº371/99, que estabelece as condições gerais de contratação, contabilização e faturamento do uso da capacidade de reserva requerida por consumidores atendidos por autoprodutor ou produtor independente.

A crise energética que assolou o país em 2001 motivou a ANEEL a criar medidas emergenciais para incentivar o incremento da geração, aumentando a oferta de energia de forma a permitir o atendimento do mercado de energia elétrica do sistema interligado. A geração próxima aos centros de carga constitui importante benefício para o aumento da confiabilidade e estabilidade dos sistemas de transmissão e de distribuição, reduzindo perdas e aumentando a oferta de energia elétrica. Desta forma, a legislação vigente assegura aos chamados “Sistemas de Geração Distribuída ou Descentralizados” conectarem-se livremente à rede de distribuição e transmissão, mediante ressarcimento do custo de transporte envolvido às concessionárias e permissionárias dos serviços de

eletricidade, tornando a atividade de geração descentralizada vantajosa e de interesse dos setores industriais, comerciais, de serviços, de outros agentes privados e das próprias concessionárias de energia elétrica.

Neste cenário, este artigo descreve e analisa o desempenho da operação ilhada de um sistema com a presença de geração distribuída e seu impacto nos índices de continuidade do fornecimento do sistema de distribuição da empresa HIDROPAN S.A..

Este artigo está estruturado da seguinte forma: na Seção 2 é descrito o sistema de distribuição da Empresa HIDROPAN. Na seção 3 é apresentada uma revisão de conceitos e definições sobre geração distribuída. Na seção 4 é apresentada a análise da operação de ilhamento de partes do sistema que foram atendidas através de geração distribuída, seguida das principais conclusões apresentadas na Seção 5.

2. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA: CONCEITOS E DEFINIÇÕES

Os modernos sistemas de energia desenvolvidos nos últimos 50 anos seguem a orientação da economia de escala, onde grandes capacidades geradoras eram instaladas em locais muitas vezes remotos, o que exigia sistemas de transmissão com alta tensão e capacidade de corrente a fim de transportar a energia até os centros consumidores. Entretanto, devido a restrições ambientais e de caráter econômico, bem como a reestruturação do setor elétrico vista em vários países e no Brasil, a Geração Distribuída passou a ser vantajosa em relação as grandes centrais de produção de energia.

Geração Distribuída (GD) é uma nova abordagem na indústria elétrica. Em [1] são apresentadas as principais vantagens e desvantagens da conexão da GD em sistemas de distribuição. Em [2] são citados os principais fatores que elevam os custos das empresas de distribuição e os que beneficiam tornando atrativa a conexão da GD em redes de distribuição. Já em [3] é apresentada uma série de itens a serem considerados para utilização da GD no Reino Unido, citando os custos do gerador, da energia e seus subsídios para a viabilização da conexão. Em [4], o autor do trabalho apresenta diretrizes do planejamento de redes de distribuição no ambiente competitivo do setor elétrico. Em [5], através de um sistema exemplo são expostos os benefícios da conexão de GD no sistema de distribuição. Os termos Geração Distribuída (*Distributed Generation*), Geração Dispersa (*Dispersed Generation*) e Geração Embutida (*Embedded Generation*) são todos sinônimos, embora exista uma tendência para o uso do termo “Geração Distribuída”.

Entre os tipos de geração distribuída, pode-se considerar: sistemas fotovoltaicos, geradores eólicos, células combustíveis, micro e pequenas centrais hidrelétricas e pequenos geradores movidos por turbinas a gás.

Ainda não existe, até o momento, uma definição de consenso do que realmente constitui uma Geração Distribuída e de que forma ela se diferencia da convencional ou centralizada. Entretanto, de acordo com a referência [6], alguns atributos da Geração Distribuída podem ser considerados, tais como:

- ✓ Planejamento não centralizado;
- ✓ Despacho não centralizado;
- ✓ Normalmente com potência inferior a 50 – 100MW;
- ✓ Usualmente conectados nos sistemas de distribuição.

Os autores concordam com todos os atributos acima mencionados sobre a Geração Distribuída, menos o que se refere a potência nominal dos geradores, o qual é considerado bastante elevado para ser conectado aos sistemas típicos de distribuição brasileiros. A referência [7] apresenta uma análise e comentários sobre a dificuldade de se definir esse tipo de geração em função da sua capacidade de produção de energia elétrica, pois para cada país há uma variação desse valor, o qual tem uma forte dependência com a capacidade de distribuição desta energia por parte do sistema de distribuição. Para os autores desse artigo, Geração Distribuída é aquela com capacidade igual ou inferior a 10 MW.

Os sistemas de distribuição clássicos foram projetados para operarem, na maioria das vezes, de forma radial e sem geração conectada nos alimentadores ou diretamente no consumidor. A introdução dessas fontes de geração de energia elétrica causam um impacto significativo sobre o sistema, representado pela influência na qualidade do suprimento e em itens como fluxo de potência, níveis de curto-circuito e aspectos de controle e proteção. Na maioria das vezes a influência da GD, devido ao seu pequeno porte, é local ou regional.

A presença de GD nos sistemas de distribuição causa impactos positivos e desejáveis ao sistema, podendo ser citados:

- Suporte de tensão: o gerador assegura e eleva os níveis de tensão no sistema onde for conectado, fornecendo um ajuste de tensão efetivo para ajustar a operação;
- Melhoria na qualidade do suprimento: com a melhoria dos níveis de tensão, ocorre um incremento na qualidade de fornecimento;
- Redução das perdas: com o aumento nos níveis de tensão ocorre a diminuição da corrente, o que acarreta uma redução nas perdas joule no sistema;
- Melhoria do fator de potência com liberação da capacidade de atendimento: Possibilidade de fornecimento por parte do gerador de potência reativa, liberando assim o fluxo de potência ativa nas linhas de transmissão;
- Possibilidade de ilhamento para atendimento de carga local: quando por algum problema ocorre a atuação de uma proteção do transformador da subestação que liga o alimentador ao sistema, ou mesmo uma manutenção do sistema de transmissão e

subtransmissão, impossibilitando o atendimento do alimentador pelo sistema, o gerador pode fornecer energia localmente, minimizando o desabastecimento dos consumidores e contribuindo para melhorar os índices de desempenho do sistema.

Entretanto, algumas questões críticas também surgem com a conexão de GD em sistemas de distribuição, tais como:

- Aumento nos níveis de curto-circuito: sendo o gerador um elemento ativo, ele será uma fonte que irá alimentar uma parte da corrente de curto-circuito;
- Coordenação da proteção: deverão ser criados novos esquemas para a coordenação da proteção de sistemas de distribuição considerando a conexão de geradores;
- Harmônicos devido a conversores: principalmente a conversores estáticos encontrados em geradores eólicos e sistemas fotovoltaicos;
- Flicker: ocorre na partida de geradores indutivos;
- Competição por regulação de tensão: o gerador pode competir pela regulação de tensão com bancos de capacitores, reguladores de tensão em alimentadores e com transformadores com mudança de tap sob carga. Portanto, devem ser realizados estudos no sentido de obter-se uma coordenação adequada entre estes equipamentos.

Outro fator bastante crítico da GD refere-se a flutuação de geração de potência ativa, a qual é condicionada a disponibilidade da fonte primária (ventos, sol, água, etc).

2.1 Produtores Independentes e Autoprodutores de Energia:

A reestruturação do setor elétrico cria condições favoráveis e incentivos a conexão de Produtor Independente de energia (PIE) e Autoprodutor de Energia Elétrica (APE). Sendo o primeiro um agente que comercializa a energia produzida por ele e o segundo um agente que é auto-suficiente, isto é, consome toda a energia que produz, podendo este ser um gerador próprio de uma indústria.

O Autoprodutor pode-se encontrar em três situações distintas, que são:

- Como já citado na própria definição, este é auto-suficiente, isto é, consome toda energia produzida, sem necessitar consumir energia da rede elétrica. Este exemplo é comum em sistemas isolados;

Autoprodutor é auto-suficiente e a energia que sobra do processo de geração é colocado na rede elétrica e vendida no mercado, o gerador está trabalhando em paralelo com a empresa de serviços elétricos;

Autoprodutor não é auto-suficiente, necessita que parte da sua carga seja suprida pela empresa de serviços elétricos. O gerador, neste caso, também está trabalhando em paralelo com a rede;

Autoprodutor só gera energia quando há indisponibilidade de energia por parte da concessionária que o abastece. Este modo é usado por indústrias, a fim de não parar o seu processo de fabricação. Geralmente são utilizados pequenos geradores.

A empresa HIDROPAN é melhor definida pela terceira definição de Autoprodutor apresentada acima.

A elaboração do Módulo 3 dos “Procedimentos de Distribuição” deverá tratar dos requisitos necessários aos sistemas de distribuição e aos Produtores Independentes, devendo substituir as normas e os documentos suplementares atualmente utilizados como referências.

A conexão dos PIE e APE, como já foi mencionado na seção anterior, traz uma série de aspectos positivos à operação do sistema de distribuição, como: melhora de nível de tensão, continuidade de atendimento dos consumidores, etc. Estas melhorias no sistema de distribuição poderão ser remuneradas pelos geradores através de “Serviços Ancilares”, mas este tipo de serviço ainda não está regularizado no modelo de Setor Elétrico Brasileiro, embora seja comum em outros países que também sofreram a reestruturação no setor elétrico.

3. O SISTEMA HIDROPAN

A Hidroelétrica Panambi S.A. – HIDROPAN, situada no município de Panambi e localizada na Região do Planalto do Rio Grande do Sul, é uma concessionária de energia elétrica que atende a dois municípios, Panambi e Condor, como mostra a Figura 1.

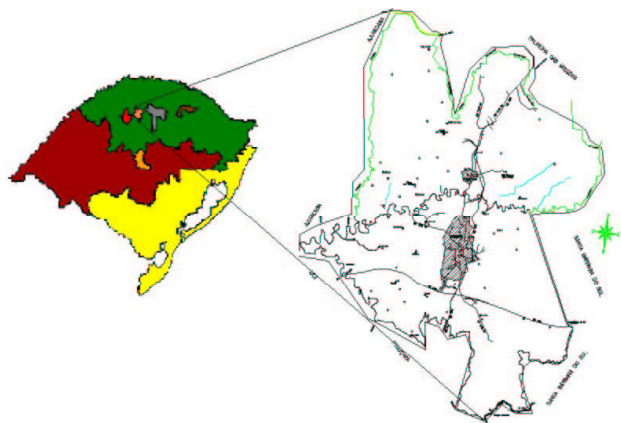


Figura 1- Localização do Sistema HIDROPAN.

A HIDROPAN atua na área de distribuição e geração de energia elétrica desde 1926 e hoje fornece energia elétrica a mais de 11.000 clientes. O mercado energético está basicamente dividido no segmento residencial com 33% do consumo, industrial com 30%, comercial com 19% e o segmento rural que responde por 5% do consumo de energia elétrica. Os índices de qualidade da energia elétrica da HIDROPAN vem apresentando uma sensível

melhoria nos últimos anos, especialmente nos indicadores de continuidade de fornecimento (Figura 2), embora ainda fortemente influenciados pelo sistema de transmissão que atende ao sistema de distribuição da HIDROPAN através de uma única linha de transmissão radial.

A Figura 2 apresenta um gráfico com o histórico dos índices de Continuidade; Duração Equivalente de Interrupção por unidade consumidora (DEC) e Frequência Equivalente de Interrupção por unidade consumidora (FEC); atingidos pela HIDROPAN, entre os anos de 1997 e 2001.

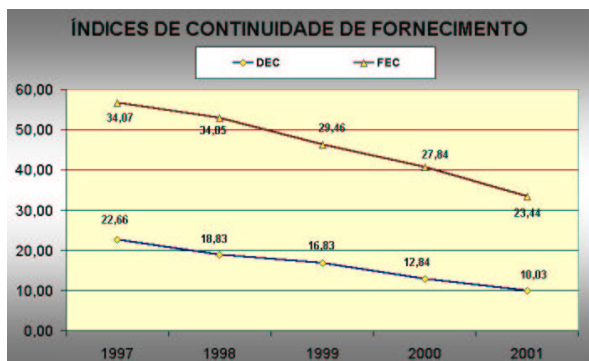


Figura 1- Índices de Continuidade de Fornecimento.

A Figura 2 comprova a melhora significativa atingida pela empresa nos últimos 5 anos em função dos seus índices de Continuidade de fornecimento de energia elétrica, o DEC reduziu em 55,7 % e o FEC em 31,2 % entre o intervalo de tempo descrito nesta Figura.

3.1 - O Sistema de Suprimento à HIDROPAN

O sistema de distribuição da HIDROPAN é atendido por apenas 1(uma) subestação, sendo este o ponto de conexão entre a rede de subtransmissão e o sistema de alimentadores de distribuição da HIDROPAN. A capacidade da subestação é 12,5MVA e está determinada pela potência dos dois transformadores de 6,25MVA ligados em paralelo, que convertem 69kV em 13,8kV, tensão primária de distribuição do sistema da HIDROPAN. Os transformadores da subestação Panambi não estão equipados com comutadores automáticos sob carga, sendo a regulação de tensão realizada por reguladores instalados diretamente na rede de distribuição. Esta subestação é alimentada por uma linha de transmissão em 69kV proveniente do município de Cruz Alta, distante cerca de 40km, a qual conecta-se ao sistema de subtransmissão e transmissão através de uma subestação de 69/138 kV. A Figura 3 apresenta um mapa com a localização geográfica desse sistema de subtransmissão, o qual apresenta uma visão sobre o problema de fornecimento de energia à HIDROPAN através de um sistema radial de subtransmissão.

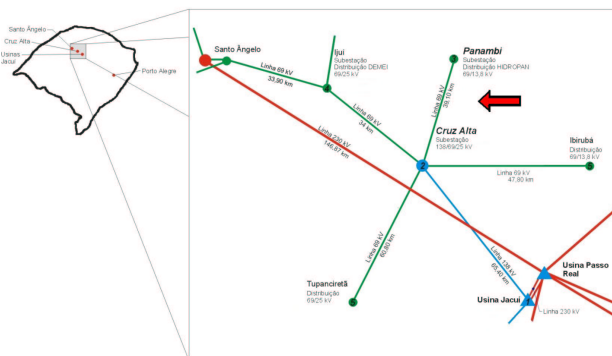


Figura 3 – Localização do Sistema de Subtransmissão que abastece o sistema HIDROPAN.

3.2 Sistema de Distribuição de Energia Elétrica

A HIDROPAN possui (2) dois alimentadores de distribuição que operam na tensão primária de distribuição de 13,8kV e parte da subestação Panambi.

O percurso de alimentadores de distribuição não é longo e a configuração raramente é simétrica. O tronco alimentador nº1 possui a maior extensão visto que atende a 2(dois) municípios bem como uma área de agricultura extensiva, tendo 13km de rede em área urbana e 30km em área rural. O alimentador nº2 possui uma extensão menor, aproximadamente 28km, sendo 12km localizados em área urbana e 16km em área rural com características de pequena propriedade. Os alimentadores da HIDROPAN, embora as posições dos disjuntores caracterizem o sistema como eletricamente radial, comportam-se como um pequeno sistema de transmissão, com várias possibilidades de transferência de carga em situações de emergência, visto que são compostos de redes em anéis, tanto anéis normalmente abertos como fechados, aumentando assim a manobrabilidade, confiabilidade e versatilidade do sistema de distribuição.

Os transformadores de distribuição operam na tensão de 380/220V e possuem potência entre 5kVA e 300kVA. Os transformadores de distribuição normalmente estão localizados nos ramos de derivação do tronco primário dos alimentadores, sendo o motivo desta diretriz uma questão de confiabilidade e continuidade, uma vez que situações de emergência em unidades transformadoras localizadas no tronco poderiam provocar o desligamento total do alimentador. Outro aspecto desta diretriz é operativa, visto que os alimentadores operam com pequenas centrais de geração conectadas diretamente a rede de distribuição e o baixo carregamento do tronco primário traz alguns benefícios para este tipo de operação.

3.3 O Potencial de Geração Distribuída do Sistema de Distribuição da HIDROPAN

A Hidroelétrica Panambi S.A. está intimamente ligada ao conceito de geração distribuída e produção de energia local, pois o marco de fundação da empresa em 1926 está na inauguração da primeira usina hidroelétrica da região

localizada no Rio Alegre, município de Condor. A energia elétrica produzida pela Usina do Rio Alegre e pela Usina do Rio Palmeira, construída em 1945, era diretamente distribuída aos pioneiros da região de forma isolada, impulsionando o crescimento econômico da comunidade. O sistema de distribuição da HIDROPAN operou de forma isolada até 1969, quando foi instalada a rede de subtransmissão vinda de Cruz Alta para conexão ao sistema interligado.

O crescimento industrial e agrícola da região de Panambi e a necessidade de novos requisitos energéticos estimularam a diversificação da produção de energia elétrica, e o novo contexto de maior flexibilidade e liberação motivou o desenvolvimento das tecnologias de geração distribuída.

Atualmente existem 3(três) pequenas centrais hidroelétricas conectadas ao sistema de distribuição da HIDROPAN. Duas usinas, Rio Alegre e Rio Palmeira, pertencem a própria HIDROPAN, e foram recentemente remodeladas e modernizadas, possuindo uma potência instalada de 950kVA cada uma. Estas usinas atuam diretamente no atendimento ao mercado de distribuição da HIDROPAN. Existe ainda a Usina Fockink que pertence a um autoprodutor cuja potência instalada é de 720kVA e localiza-se no Rio Caxambu. As usinas Rio Alegre e Rio Palmeira estão localizadas nos extremos leste e oeste do alimentador nº1 e a usina Fockink pertencente ao autoprodutor está localizada na extremidade sul do alimentador nº2. Esta configuração, entre outras vantagens, proporciona um benefício comercial importante, a redução de perdas. As perdas de energia elétrica da HIDROPAN estão a 4 anos estáveis na ordem de 3%.

Existem ainda dentro da área de concessão da HIDROPAN outras 14 unidades de grupos geradores, com potência instalada total de 5.369kVA. Estas unidades de geração pertencem a consumidores de diferentes segmentos (industrial, comercial e agrícola). A localização destas unidades dentro do sistema de distribuição é centralizada (periferia da área urbana, nos distritos industriais e centros comerciais). O principal insumo energético dos sistemas de geração identificados utiliza tecnologias convencionais a base de motores diesel com potências entre 100 e 600kVA. Estes grupos geradores são utilizados com a finalidade de fornecimento de energia elétrica sob dois aspectos: substituição da energia da rede (autogeração) devido ao sinal tarifário horosazonal e para garantir a alimentação das cargas essenciais no caso de uma falha da rede da concessionária de distribuição. Analisando as características das instalações de geração descentralizada foi identificado que 5 (cinco) unidades de geração a óleo diesel possuem unidades digitais de supervisão e controle para serviço em paralelo com o sistema de distribuição, perfazendo um potencial de 2,8MVA com estas características.

Portanto, o sistema de distribuição da HIDROPAN tem embutido um potencial de geração distribuída de 8.049kVA, sendo que 2.680kVA estão instalados em Pequenas Centrais Hidroelétricas e 5.369kVA presentes em grupos geradores emergenciais a base de diesel. Da potência instalada em grupos geradores diesel 2.854kVA possuem sistema de controle para sincronismo e operação em paralelo com o sistema de distribuição. Em caso de emergência o sistema de distribuição da HIDROPAN possui 5.534kVA instalados em unidades de geração descentralizada, potência considerada apreciável (aproximadamente 47% da carga) frente a demanda de 12.000kVA do sistema de distribuição da HIDROPAN.

4. ANÁLISE DA OPERAÇÃO ILHADA DO SISTEMA HIDROPAN

4.1 – Procedimentos e Manobras para Ilhamento

No dia 7 de abril de 2002 das 7:47h às 09:42h, houve a necessidade de realizar o desligamento da linha de transmissão Cruz Alta–Panambi, operada pela CEEE - Companhia Estadual de Energia Elétrica, que abastece todo o sistema de distribuição da Hidroelétrica Panambi S.A. atingindo a todos os consumidores de Panambi e Condor. Segundo informação da CEEE o desligamento era necessário para execução de serviços de manutenção da linha de transmissão, serviço este sem possibilidade de realização em linha viva. Embora o desligamento fosse planejado para ser realizado em um domingo pela manhã, havia restrições técnicas e econômicas a um desligamento prolongado de todo o sistema de distribuição, principalmente devido aos reflexos nos indicadores de qualidade do serviço.

A verificação dos índices de continuidade do fornecimento de energia elétrica da HIDROPAN, DEC “*Duração Equivalente por Consumidor*” e FEC “*Frequência Equivalente por Consumidor*”, são realizados para 3(três) conjuntos de consumidores, o conjunto Urbano Panambi, com 9776 consumidores, o conjunto Urbano Condor, com 1132 consumidores e o conjunto Rural HIDROPAN, com 281 consumidores. A Figura 4 mostra espacialmente a localização geográfica destes conjuntos.

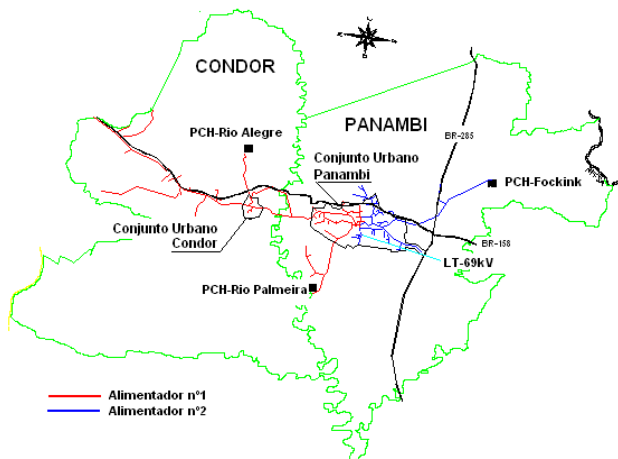


Figura 4 – Localização dos conjuntos de consumidores do Sistema HIDROPAN.

A principal restrição técnica ao desligamento programado da transmissão, embora a energia não atendida fosse pequena devido ao baixo carregamento do sistema no horário e dia planejado para o desligamento, eram os índices de continuidade os quais seriam severamente degradados, visto que os conjuntos de consumidores seriam inteiramente atingidos refletindo em uma unidade inteira de FEC. Da mesma forma, toda a duração do desligamento seria inteiramente refletida no DEC. Houveram outros fatores motivadores para que se buscassem alternativas de fornecimento de energia elétrica, como a insatisfação causada ao segmento residencial pela privação do conforto produzido pela eletricidade, a perda de produtividade de pequenos comércios que atuam no domingo pela manhã e a conseqüente queda do índice de satisfação dos clientes.

O cenário propício motivou a elaboração de um plano para a operação ilhada de partes do sistema de distribuição da HIDROPAN durante o desligamento do suprimento, realizando o atendimento parcial da carga do sistema através de 3(três) pequenas centrais hidroelétricas, a PCH Rio Alegre, a PCH Rio Palmeira e a PCH Fockink.

A primeira alternativa encontrada foi realizar o atendimento de parte do alimentador nº2 através de uma usina hidroelétrica pertencente a um autoprodutor, a PCH Fockink. Esta alternativa foi viabilizada da seguinte forma: Inicialmente procedeu-se uma análise da curva de carga típica do alimentador para um dia de final de semana, posteriormente foram realizadas transposições da curva típica alimentador agregando-se a carga de trechos do tronco primário do alimentador nº2, no sentido da PCH-Fockink ao centro da cidade de Panambi. Deste procedimento obteve-se uma curva agregada do trecho da rede primária que permitisse o atendimento através da usina Fockink.

Determinado e avaliado o trecho do tronco primário do alimentador nº2 a ser atendido foram procedidas as

manobras no sentido de isolar este trecho do restante da rede. Anteriormente ao início do desligamento foram abertos todos os ramais primários que permitissem alimentação por outro elo em anel, também foram abertos alguns ramais primários terminais de atendimento a pólos industriais. Neste momento estabeleceu-se um trecho primário desde a PCH-Fockink até uma chave seccionadora a óleo localizada no centro de Panambi, de forma que esta chave torna-se o único elo entre este trecho da rede primária e o sistema de suprimento da subestação Panambi.

A próxima operação foi colocar em operação a PCH-Fockink injetando a potência prevista para o atendimento do trecho da rede primária da usina até a chave seccionadora a óleo mencionada. Antes do início do desligamento, procedeu-se a abertura da chave a óleo isolando o trecho da rede primária que ficou sendo atendida pela PCH-Fockink.

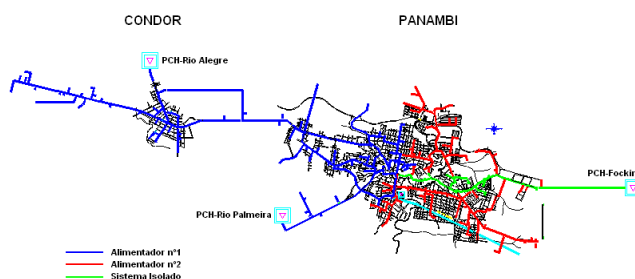


Figura 5 – Sistema atendidos na primeira alternativa.

A Figura 5 mostra todo o sistema HIDROPAN, sendo o tronco do alimentador a ser atendido na operação isolada na primeira alternativa, representado em verde. O restante do alimentador nº2, representado em vermelho, ficou desprovido do fornecimento de energia elétrica durante o desligamento.

A segunda alternativa encontrada foi o atendimento total ao conjunto urbano Condor. Inicialmente procedeu-se a avaliação da curva de carga prospectada para este conjunto através das curvas típicas de cada segmento e de medições realizados em domingos que antecederam ao desligamento. Por essa análise verificou-se a possibilidade de atender o conjunto Condor pela PCH Rio Alegre, esta operação foi procedida da seguinte forma: Alguns minutos antes do horário previsto para o desligamento, uma equipe da HIDROPAN procedeu à abertura de uma chave seccionadora a óleo no alimentador nº1 localizada na saída de Condor interrompendo o fornecimento de energia para a área rural do município de Condor. Posteriormente, ainda momentos antes do desligamento do suprimento, foi aberto o religador do alimentador nº1 em Panambi de onde sai o circuito primário do alimentador nº1 que atende ao município de Condor. Após a abertura deste religador a PCH Rio Alegre, que já estava despachando a

energia prevista ao atendimento daquele setor do sistema de distribuição, passou a atender o conjunto Urbano Condor de forma isolada e sem interrupções.

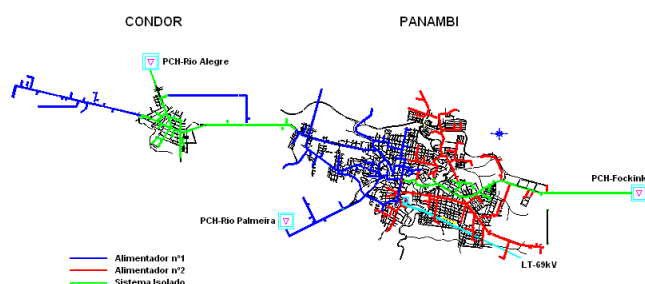


Figura 6 – Ramais atendidos na segunda alternativa.

Na Figura 6 estão representados em verde os ramais dos alimentadores do sistema HIDROPAN que seriam operados isolados como idealizava a segunda alternativa.

Alimentado o conjunto Urbano Condor em sua totalidade, a usina Rio Alegre ainda dispunha de capacidade para alimentar outros trechos do sistema de distribuição da HIDROPAN pertencentes ao conjunto Rural HIDROPAN.

Analisando o circuito de distribuição verificou-se a possibilidade de isolar um circuito exclusivo de atendimento a uma indústria que não estaria em funcionamento naquele domingo. As manobras realizadas neste circuito foram no sentido de “linká-lo” ao circuito primário rural que se dirige à PCH Rio Palmeira e ao religador do alimentador nº1, limite do sistema isolado que atendia o conjunto Urbano Condor.

A Usina Rio Palmeira anteriormente ao início do desligamento do suprimento, permaneceu fora de operação. Neste momento o circuito primário rural da Usina Rio Palmeira estava unido ao circuito urbano industrial até o religador do alimentador nº1, sendo alimentado pela subestação por outro elo seccionador. A operação seguinte foi a abertura deste elo seccionador desenergizando o trecho da rede primária entre a Usina Rio Palmeira e o religador, imediatamente após esta manobra foi fechado o religador energizando o trecho primário até a usina Rio Palmeira, assim a Usina Rio Alegre assumiu a carga deste trecho da rede primária, do religador até a Usina Rio Palmeira. Esta operação de transferência da alimentação teve de ser rápida, tempo menor que 3 minutos, para que o desligamento não fosse computado no DEC/FEC, como determina a Resolução nº24. da ANEEL.

O próximo passo a ser realizado, foi a colocação em operação da Usina Rio Palmeira em paralelo com a usina Rio Alegre aumentando assim a capacidade de geração do sistema isolado. A partir do sincronismo das duas usinas hidroelétricas foi possível atender a um trecho da

rede primária do conjunto Urbano Panambi, diminuindo assim os índices de continuidade tanto do conjunto Urbano Panambi como do conjunto Rural HIDROPAN.

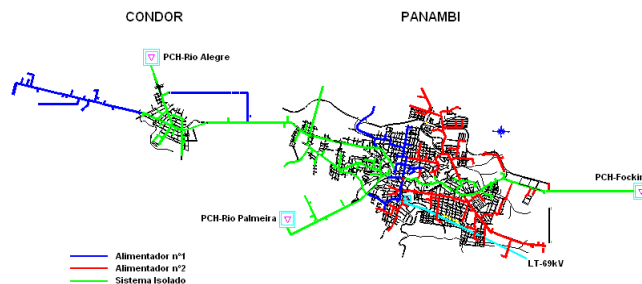


Figura 7 – Atendimento dos ramais na operação isolada da empresa HIDROPAN.

A Figura 7 apresenta o sistema de distribuição da HIDROPAN, os dois ramais de alimentadores em verde foram atendidos isoladamente no dia 7 de abril de 2002, um pela Usina – Fockink e o outro pelas Usina Rio Palmeira e Rio Alegre.

A Tabela I apresenta uma comparação dos índices de continuidade de fornecimento de energia elétrica atingidos pela HIDROPAN com a operação isolada e se houvesse o corte total de fornecimento de energia elétrica para seus consumidores no dia 7 de abril de 2002.

4.2 - A Simulação do Ilhamento

Todos os procedimentos e seqüência de manobras foram realizados baseados em estudos preliminares da curva de carga do sistema, disponibilidade das usinas e seqüência de manobras em chaves para compatibilizar a carga com a geração. Estes procedimentos foram baseados em algumas premissas e na experiência dos técnicos e engenheiros responsáveis pelo procedimento da operação isolada. O evento de ilhamento foi supervisionado e documentado com o objetivo de fornecer informações para futuras simulações e estudos de análise dos procedimentos.

Desta forma, iniciou-se recentemente estudos no sentido de modelar o sistema HIDROPAN. Esses estudos de análise estática e dinâmica permitem simular diversas condições de operação e contingências, a fim de determinar opções seguras de operação, dentre elas a possibilidade de ilhamento, maximizando o número de consumidores atendidos com segurança e contribuindo dessa forma para melhorar ainda mais os índices de desempenho do sistema HIDROPAN.

O objetivo final é desenvolver uma metodologia analítica de suporte às ações de ilhamento levando em conta as diversas variáveis que atuam sobre o processo decisório. Este processo é o tema de dissertação de um Engenheiro da HIDROPAN no Programa de Pós-Graduação da PUCRS.

O primeiro modelo criado foi a rede de seqüência positiva para simular as condições estáticas de fluxo de potência do sistema. Para as simulações foi utilizado o programa PSS-ADEPT. A Figura 8 (Anexo I) apresenta o modelo da rede com os resultados das simulações.

Todas as simulações realizadas comprovaram a eficácia dos procedimentos realizados na operação de ilhamento e apontaram para a possibilidade de aumentar o número de consumidores atendidos através de novas situações topológicas de operação. Estas simulações são o primeiro passo para determinar uma metodologia analítica para o problema.

Devido ao problema de tempo e a falta de dados validados não foi possível realizar as simulações de comportamento dinâmico do sistema, o qual será tema de artigo futuro.

Na próxima seção apresenta-se as principais conclusões e comentários sobre o tema do artigo.

5. CONCLUSÕES

A HIDROPAN a muito tempo utiliza geração distribuída como forma de desenvolvimento tecnológico e diminuição de custos de atendimento ao mercado. A geração distribuída está gradualmente aumentando a sua penetração nos sistemas de energia e tornando-se competitiva em relação às alternativas convencionais de produção de energia em larga escala, pois minimizam os investimentos nos sistemas de transmissão, diminuem as perdas e possuem a possibilidade de auxiliar o sistema em condições de emergência atuando de forma ilhada para atender parte do sistema.

O “Caso HIDROPAN de Operação Isolada de um Sistema de Distribuição com Geração Distribuída”, consolida outra vantagem fundamental da geração distribuída, a vantagem qualitativa, pois aumenta a disponibilidade do sistema distribuição. Podemos verificar no quadro comparativo (Anexo I Tabela I) a melhoria dos índices de continuidade proporcionada pela operação isolada através da geração distribuída.

Os sistemas de distribuição radiais, corretamente projetados e operacionalmente eficazes, fornecem bons níveis de disponibilidade de serviço. Porém é difícil melhorar o nível de confiabilidade sem acrescentar múltiplas redundâncias de fornecimento através de outras linhas de transmissão. Neste caso, as unidades de GD podem aumentar a qualidade do fornecimento aumentando disponibilidade do serviço a custos mais baixos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Influência de Produtores Independentes de Energia Elétrica no Controle de Tensão de Alimentadores; Erico B. Spier, Flávio A. B. Lemos, Mauro A. da Rosa; IV SBQEE; Brasil; 2001.
- [2] Understanding the Potencial Benefits of Distributed Generation on Power Delivery Systems; Peter A. Daly, Jay Morrison.
- [3] The Value of Distributed Generation – Policy Implications for the UK; Catherine Mitchell; IEE Seminar; 2001.
- [4] Towards New Challenges for Distribution System Planners; E. Van Geert; 1997.
- [5] Influence of Distribution Generation on Distribution Network Performe; N. M. Ijumba, A. A. Jimoh e M. Nkabinde.
- [6] Impact of Increasing Contribution of Dispersed Generation on the Power System – CIGRE Working Group 37.23, Feb. 1999.
- [7] T. Ackermann, G. Andersson, L. Söder, “Distribution Generation: a Definition”, Electric Power Systems Research, 2001.
- [8] Distributed Generation Planning; Greg Welch
- [9] Advanced Engineering Methods for Optimizing and Integrating Distribution Planning with Demand-Side Management and Dispersed Generation; H. Lee Willis, Walter G. Scott.

Anexo I

Tabela I – Comparação dos Índices de Desempenho considerando a Operação com Corte Total dos Consumidores e com a Operação Ilhada.

TIPO DE FALTA	ORIGEM	DATA INICIO	HORA INICIO	HORA TÉRMINO	DURAÇÃO
PROGRAMADA	SUPRIDOR	7/4/2002	6:47:00	9:42:00	02:55

DEC & FEC HIDROPAN COM GERAÇÃO DISTRIBUIDA					
GRUPO	DEC	FEC	Nº Consumidores	Consumidores Atendidos por GD	%
Urbano Panambi	2,82	2,58	9776	2618	26,78%
Urbano Condor	0,64	2,48	1132	1132	100,00%
Rural HIDROPAN	1,16	1,96	281	213	75,80%
DEC & FEC GERAL HIDROPAN COM GD	2,56	2,55	11189	3963	35,42%

DEC & FEC HIDROPAN SEM GERAÇÃO DISTRIBUIDA			
GRUPO	DEC	FEC	Nº Consumidores
Urbano Panambi	3,47	2,85	9776
Urbano Condor	3,56	3,48	1132
Rural HIDROPAN	3,37	2,72	281
DEC & FEC GERAL HIDROPAN SEM GD	3,48	2,91	11189

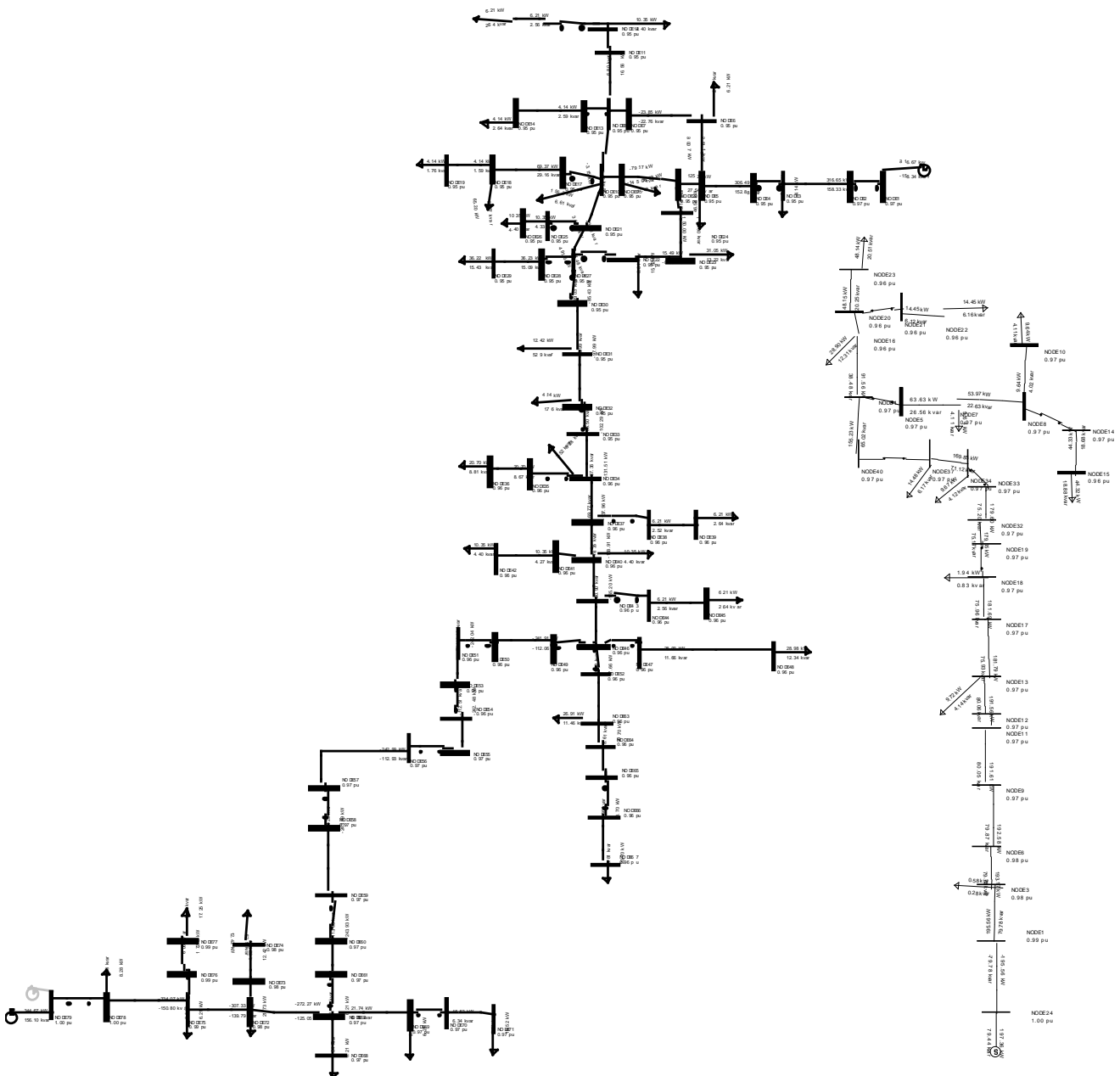


Figura 8 – Resultados da simulações nos 2 troncos de alimentadores do sistema HIDROPAN.