



XX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica
SENDI 2012 - 22 a 26 de outubro
Rio de Janeiro - RJ - Brasil

Wagner da Silva Brignol	Ricardo Barreira Orling	Alexandre Barin
Universidade Federal de Santa Maria	Companhia Estadual de Geração e Transmissão de Energia Elétrica	Universidade Federal de Santa Maria
wagner.brignol@ibest.com.br	RicardoBO@ceee.com.br	chbarin@gmail.com

Luciane Neves Canha	Luiz Fernando Guarenti Martins	Alzenira da Rosa Abaide
Universidade Federal de Santa Maria	Universidade Federal de Santa Maria	Universidade Federal de Santa Maria
lncanha@ct.ufsm.br	lferenandogm@gmail.com	alzenira@ufsm.br

Avaliação da Geração Distribuída para o fornecimento de Serviços Ancilares em Redes de Distribuição

Palavras-chave

Geração Distribuída
Serviços Ancilares
Smart Grids

Resumo

Com as crescentes modificações que vem ocorrendo nos sistemas elétricos, principalmente com o advento do conceito das redes inteligentes, a avaliação dos denominados Serviços Ancilares é essencial para melhorar a qualidade de energia fornecida ao consumidor. Este estudo visa analisar os impactos dos Serviços Ancilares relacionados com a inserção de uma Geração Distribuída (GD), que utiliza como matéria prima o biogás proveniente de um aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos, em um alimentador real da Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica (CEEE-D). Estas análises são realizadas supondo diferentes potências de inserção, independentemente do tipo de tecnologia que está atuando como GD (microturbinas, grupos motor-gerador OTTO, células a combustível, turbinas a vapor, etc). Os resultados apresentados neste artigo fazem parte de um projeto de pesquisa e desenvolvimento realizado entre o Centro de Estudos em Energia e Meio Ambiente da Universidade Federal de Santa Maria (CEEMA/UFSM-RS-

1. Introdução

A utilização de fontes alternativas de energia gera um desafio muito grande para a integração das Gerações Distribuídas (GD) às redes de distribuição das empresas distribuidoras de energia. A conexão da GD pode trazer impactos significativos no fluxo de potência, perfis de tensão, perdas elétricas, proteção, qualidade da energia (QE) e outros, tanto para os consumidores quanto para os fornecedores. Esses impactos podem ser positivos ou negativos, dependendo do sistema de distribuição e das características dos geradores [1].

Muitas concessionárias ainda não estão completamente preparadas para conectar unidades de GD às redes pela falta de estudos mais detalhados, tanto sobre o impacto desta conexão, quanto sobre as contribuições que estas conexões podem ocasionar as suas redes. Com as modificações que vem ocorrendo nos sistemas elétricos principalmente com o advento do conceito das redes inteligentes (*Smart Grid*), o sistema elétrico poderia conter dois subsistemas: um encarregado da medição on-line, o qual detectaria as necessidades dos Serviços Ancilares (SA) e enviaria sinais quando um serviço fosse requerido; e o outro subsistema realizaria o trabalho de fornecer o serviço ao receber os respectivos sinais de comando. A hierarquia no fornecimento dos SA pela GD poderia ser em ordem de importância definida por especialistas e agentes de decisão, levando em consideração a confiabilidade do sistema, a viabilidade técnica e ainda aspectos econômicos considerando a possibilidade de futuros arranjos comerciais dos SA através de Contratos de Prestação de Serviços Ancilares - como já acontece em diversos países desenvolvidos [2].

A partir destas argumentações, o conhecimento e a análise dos SA é essencial para avaliar tais contribuições, de modo a manter ou até melhorar a qualidade de energia fornecida. Sendo assim, este trabalho visa avaliar os impactos dos SA em uma rede de distribuição após definido critérios para realização das simulações.

2. Desenvolvimento

2.1 Serviços Ancilares

Serviços Ancilares (SA), também denominados de auxiliares ou subsidiários são aqueles que complementam os serviços principais que, na segmentação brasileira, são caracterizados pela geração, transmissão, distribuição e comercialização [3]. Estes serviços, em um sistema integrado como o brasileiro, se caracterizam por relações causa-efeito que afetam os sistemas como um todo e que ultrapassam as fronteiras da área de abrangência das empresas e/ou dos serviços principais.

Os SA são ações tradicionalmente agregadas de forma implícita à venda de energia elétrica e que não correspondem propriamente à energia em si. Os SA constituem requisitos técnicos essenciais para que o sistema elétrico opere com confiabilidade, ou seja, qualidade e segurança. A prestação destes serviços é atividade imprescindível à operação eficiente do SIN em ambiente competitivo [4]. São recursos e ações que garantem a continuidade do fornecimento de energia, segurança do sistema e a manutenção dos valores de frequência e tensão. A GD é um novo integrante nos atuais e futuros sistemas elétricos possibilitando a conexão de novos fornecedores de energia elétrica e outros serviços complementares, como na programação de despachos de SA [5]. O fornecimento de SA com GD pode aliviar em grande parte as demandas de sistemas elétricos, particularmente de sistemas elétricos mais antigos.

Os SA que podem ser fornecidos pela GD são [6]:

- Controle primário e secundário de frequência – controle realizado pelas unidades geradoras de modo a limitar e, posteriormente, extinguir a variação de frequência causada pelo desequilíbrio entre carga e geração;

- Reserva de potência ativa - provisão de potência ativa efetuada pelas unidades geradoras para realizar o controle de frequência;
- Reserva de prontidão - disponibilidade de unidades geradoras com o objetivo de recompor as reservas de potência;
- Suporte de reativos - fornecimento ou absorção de energia reativa, destinada ao controle de tensão da rede de operação, a mantendo dentro dos limites de variação estabelecidos;
- Auto-restabelecimento (*black-start*) - a capacidade que tem uma unidade geradora de sair, independentemente de fonte externa, de uma condição de parada total para uma condição de operação;
- Suporte de potência na ponta de curva de demanda (*Peak Shaving*);

2.2 Aplicação Prática

O caso analisado neste artigo refere-se à avaliação dos impactos dos SA relacionados com a inserção de uma GD, denominada GD AS, conectada ao alimentador AL03 com tensão de trabalho de 23 kV, pertencente a área de concessão da Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica - CEEE-D, que parte da subestação SE AR, conforme apresentado na figura 1.



Figura 1 - Alimentador AL03 ligando a SE AR à GD AS

A GD considerada neste estudo possui capacidade de geração energia elétrica de aproximadamente 6 MW, o que é suficiente para suprir a demanda solicitada por um aterro sanitário, onde a GD está localizada, e despachar o excedente para o AL03.

Partindo desta premissa, os SA simulados neste AL, independente do tipo de tecnologia/interface de GD são:

- Suporte de reativos ou a provisão de potência reativa – este SA está diretamente ligado ao controle da tensão e ao fator de potência, mantendo-os dentro dos limites admissíveis, tanto em condições normais de operação, como frente a contingências;
- Reservas de potência - este SA é essencial para operação do sistema mantendo o devido grau de segurança e qualidade. Este SA atua no mantimento do equilíbrio entre geração e demanda, durante a operação normal e durante as perturbações.

Com o intuito de realizar as simulações necessárias para as análises das condições do alimentador, utilizou-se o Software PSL@DMS - versão demo 1.0.1.1 da Powersyslab Engenharia e Sistemas Ltda - sendo esta uma das ferramentas de análise utilizadas pela CEEE-D.

Para o uso desta ferramenta faz-se necessário à inserção dos valores das medições das potências médias demandadas por este alimentador. Sendo assim, foram utilizados os valores das medições das grandezas

elétricas do AL 03 na SE AR e do local onde se encontra o aterro sanitário (GD AS). Tais valores foram retirados da memória de massa de um instrumento de medição universal de grandezas (MUG), de propriedade da CEEE-D no mês de janeiro de 2011 (pior caso); assim, pode-se incrementar as curvas de demanda ativa e reativa do AL e da curva de carga do aterro sanitário.

2.2.1. Validação entre os Dados Simulados no Software e os Dados Reais no AL 03

Após modelagem da curva de corrente do AL03 pelo software de simulação, pode-se observar que os valores obtidos na simulação estão muito próximos dos valores de corrente obtidos através MUG da SE AR, o que nos dá confiabilidade nos resultados que serão apresentados nas demais simulações a serem realizadas. A figura 2 apresenta a curva de corrente obtida pelo MUG. A figura 3 apresenta a curva de corrente do AL03 simulada.

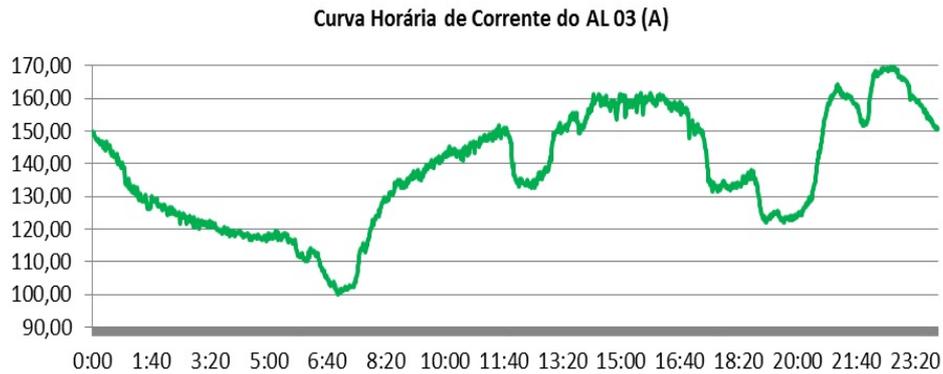


Figura 2 - Curva horária média de corrente por fase medida do AL03

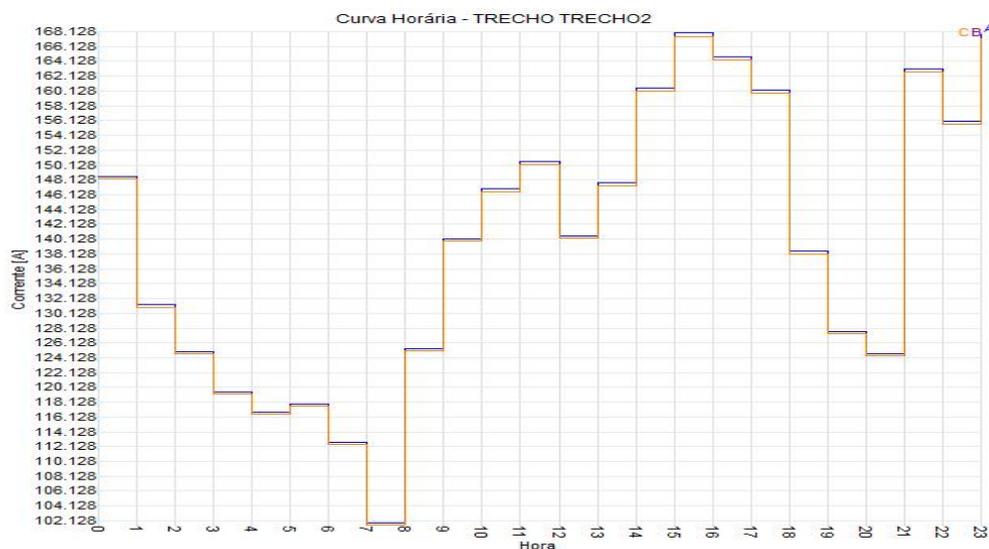


Figura 3 – Curva horária média de corrente por fase simulada do AL03

2.2.2. Critérios Estabelecidos para Fornecimento dos SA

Um dos critérios utilizados para definição do momento de inserção da GD AS no AL03 é o percentual do comprometimento do limite térmico do cabo da troncal do AL03. Este valor é definido em 50%; acima deste valor de carregamento será necessário o despacho da GD AS no AL 03.

O cabo da troncal do AL03 é o 4/0 MCM CAA, o qual apresenta a capacidade de condução de corrente de

282 A, para uma temperatura final de 50 °C. A figura 4 apresenta os horários em que o carregamento do cabo transpassa o traço indicativo de 50% de carregamento transgredindo assim o critério estabelecido, o que proporciona a inserção da GD AS no AL 03.

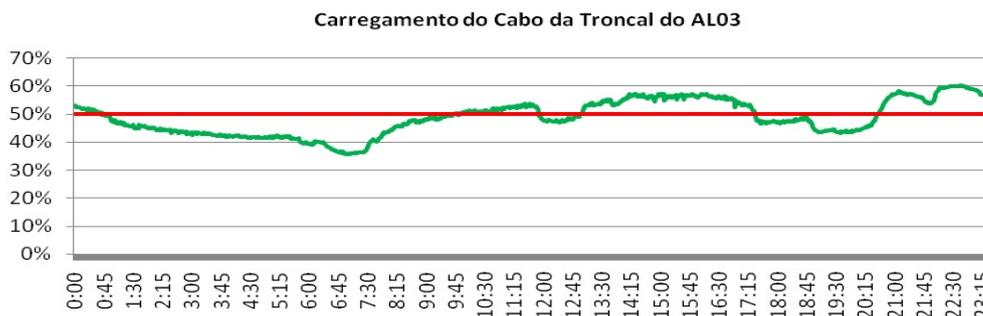


Figura 4 – Curva horária média do carregamento da troncal do AL 03.

Outro critério quantitativo escolhido como responsável para o despacho da GD AS no AL03 está relacionado aos níveis de tensão existentes no alimentador. Sempre que em algum ponto do AL03 apresentar níveis de tensão inferiores ao limite de 7% de queda de tensão - nível máximo permitido como adequado [7] - haverá transgressão do critério nível de tensão, logo a GD AS deve despachar energia ao AL03.

Para análise do comportamento dos níveis de tensão no decorrer do AL03, foram realizadas várias simulações, em diversos pontos. Dois pontos foram escolhidos para apresentação dos resultados, sendo o ponto 1 de conexão da GD AS, e o ponto 2 com níveis mais críticos de tensão. A figura 5 apresenta os pontos 1 e ponto 2 já citados.

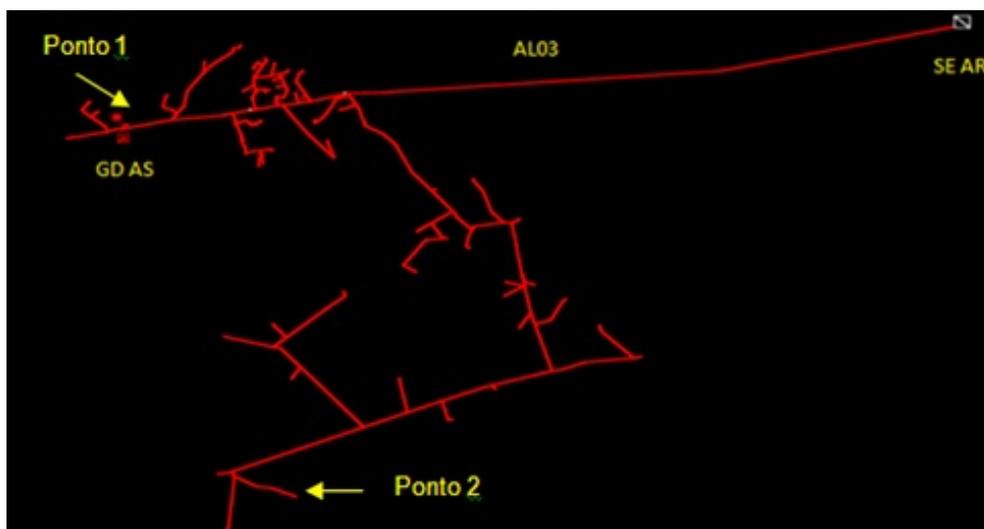


Figura 5 - Localização dos Pontos 1 e 2 no AL03

2.2.3. Definições dos Horários de Fornecimento dos SA pela GD AS

Estabelecidos os critérios, dois cenários de operação foram montados para que, através de simulações, fossem determinados os horários em que os critérios serão transgredidos. No primeiro cenário as simulações foram realizadas com valores das medições de demanda do AL03 e da curva de carga do Aterro Sanitário sem a geração de energia da GD AS. No segundo cenário, as simulações foram realizadas considerando que a GD AS gera energia elétrica para suprir somente a carga do Aterro Sanitário, sem despacho para o AL03.

De posse dos valores horários dos níveis de tensão nos pontos 1 e 2 (NT 1 e NT 2) do AL03 e do

carregamento dos cabos condutores da troncal do alimentador (Ccc) foi possível determinar a proposição dos horários para inserção da geração em função dos cenários apresentados.

Na tabela 1 estão apresentados os resultados das simulações.

Tabela 1 – Resultados das Simulações dos Cenário 1 e 2

Período	Cenário 1							Cenário 2						
	Condições do AL03 sem Geração da GD AS							GDAS suprindo a Carga do Aterro Sanitário						
hora	Curva de demanda do AL03		Curva de Carga do Aterro Sanitário		NT 1	NT 2	Ccc	Curva de Geração – GDAS		Curva de demanda do AL03		NT 1	NT 2	Ccc
	MW	MVAr	MW	MVAr	pu	pu	%	MW	MVAr	MW	MVAr	pu	pu	%
00:00	5,44	2,02	1,238	0,443	0,92	0,92	53	1,238	0,443	4,2	1,58	0,94	0,938	40
01:00	4,8	1,96	1,159	0,454	0,93	0,93	48	1,159	0,454	3,64	1,51	0,949	0,946	34
02:00	4,56	1,93	1,11	0,449	0,93	0,94	45	1,11	0,449	3,45	1,48	0,951	0,948	33
03:00	4,37	1,9	1,082	0,448	0,93	0,94	43	1,082	0,448	3,29	1,45	0,953	0,95	31
04:00	4,28	1,86	1,065	0,433	0,94	0,94	42	1,065	0,433	3,22	1,43	0,954	0,952	30
05:00	4,28	1,84	1,026	0,424	0,94	0,94	42	1,026	0,424	3,25	1,42	0,954	0,951	31
06:00	4,09	1,56	0,914	0,356	0,94	0,94	39	0,914	0,356	3,18	1,2	0,953	0,952	30
07:00	3,76	1,42	0,879	0,34	0,95	0,95	36	0,879	0,34	2,88	1,08	0,958	0,955	28
08:00	4,39	1,97	0,957	0,414	0,93	0,93	44	0,957	0,414	3,43	1,56	0,96	0,944	34
09:00	4,83	2,22	1,021	0,441	0,92	0,92	48	1,021	0,441	3,81	1,78	0,941	0,937	38
10:00	5,07	2,29	1,071	0,451	0,92	0,92	50	1,071	0,451	4	1,84	0,938	0,934	40
11:00	5,2	2,31	1,092	0,456	0,91	0,92	52	1,092	0,456	4,11	1,85	0,937	0,932	41
12:00	4,97	1,99	1,063	0,412	0,92	0,93	48	1,063	0,412	3,91	1,58	0,943	0,937	38
13:00	5,12	2,16	1,051	0,424	0,92	0,92	50	1,051	0,424	4,07	1,74	0,938	0,934	40
14:00	5,48	2,36	1,089	0,444	0,91	0,91	55	1,089	0,444	4,39	1,92	0,929	0,927	44
15:00	5,7	2,54	1,148	0,45	0,91	0,91	57	1,148	0,45	4,55	2,09	0,927	0,924	46
16:00	5,59	2,56	1,131	0,461	0,91	0,91	56	1,131	0,461	4,46	2,1	0,928	0,925	46
17:00	5,46	2,43	1,104	0,445	0,91	0,91	54	1,104	0,445	4,36	1,99	0,929	0,927	45
18:00	4,89	2	1,062	0,392	0,93	0,93	47	1,062	0,392	3,83	1,61	0,943	0,939	37
19:00	4,55	1,89	1,018	0,395	0,93	0,93	44	1,018	0,395	3,53	1,5	0,948	0,944	35
20:00	4,53	1,72	1,032	0,378	0,93	0,94	44	1,032	0,378	3,5	1,34	0,95	0,948	33
21:00	5,86	1,85	1,227	0,373	0,92	0,92	57	1,227	0,373	4,63	1,48	0,938	0,933	44
22:00	5,69	1,75	1,233	0,381	0,92	0,92	54	1,233	0,381	4,46	1,37	0,941	0,936	42
23:00	6,08	2,01	1,323	0,43	0,91	0,92	59	1,323	0,43	4,76	1,58	0,937	0,932	44

Os resultados do primeiro cenário de NT 1, NT 2 e Ccc que estão destacados em negrito na tabela I, indicam os horários do dia em que pelo menos um dos critérios estabelecidos foi transgredido, justificando o fornecimento de SA pela GD AS ao AL03 nos seguintes horários: das 09:00h às 17:00h e das 21:00h às 00:00h. No segundo cenário, a GD AS está suprindo a demanda de energia elétrica solicitada pelo Aterro Sanitário. A curva de demanda do AL03 diminui, ou seja, está sendo demandada menos energia elétrica deste alimentador, o que acarreta em um aumento dos níveis de tensão (NT) ao longo de todo alimentador assim como a diminuição do percentual de carregamento dos cabos condutores (Ccc). Isto ocasiona a

redução dos horários em que pelo menos um dos critérios adotados é transgredido, conforme valores apresentados na tabela I. Desta forma os horários que justificam o fornecimento de SA pela GD AS ao AL03 são: das 14:00h às 17:00h.

2.2.4. Impactos do Fornecimento dos SA

Para avaliar os impactos causados no AL03 pelo fornecimento de SA pela GD AS nos horários indicados no segundo cenário, simulou-se o quanto é necessário de fornecimento de energia ativa e reativa pela GD AS para manter o nível de tensão no ponto 1 (NT 1 – conexão da GD AS no AL03) o nominal de operação da rede de distribuição (23 kV – 1pu).

A tabela 2 apresenta os resultados obtidos, por horário, considerando: a curva de geração da quantidade de energia despachada pela GD AS para o AL03, energia demandada pelo AL na barra da SE AR, o fator de potência resultante do AL, níveis de tensão no ponto de conexão da GD AS (NT 1), níveis de tensão no ponto mais crítico do AL03 (NT 2) e o percentual de carregamento do cabo condutor.

Tabela 2 – Valores característicos do AL03 sem a contribuição da GD.

GD AS suprindo a carga do Aterro e despachando para o AL03										
Período	Curva de Geração -		Despacho para o AL		Curva de demanda		FP AL03	NT1	NT2	Ccc
	MW	MVAr	MW	MVAr	MW	MVAr	cos α	pu	pu	
00:00	1,238	0,443	0	0	4,2	1,58	0,94	0,94	0,938	40
01:00	1,159	0,454	0	0	3,64	1,51	0,92	0,949	0,946	34
02:00	1,11	0,449	0	0	3,45	1,48	0,92	0,951	0,948	33
03:00	1,082	0,448	0	0	3,29	1,45	0,91	0,953	0,95	31
04:00	1,065	0,433	0	0	3,22	1,43	0,91	0,954	0,952	30
05:00	1,026	0,424	0	0	3,25	1,42	0,92	0,954	0,951	31
06:00	0,914	0,356	0	0	3,18	1,2	0,94	0,953	0,952	30
07:00	0,879	0,34	0	0	2,88	1,08	0,94	0,958	0,955	28
08:00	0,957	0,414	0	0	3,43	1,56	0,91	0,96	0,944	34
09:00	1,021	0,441	0	0	3,81	1,78	0,91	0,941	0,937	38
10:00	1,071	0,451	0	0	4	1,84	0,91	0,938	0,934	40
11:00	1,092	0,456	0	0	4,11	1,85	0,91	0,937	0,932	41
12:00	1,063	0,412	0	0	3,91	1,58	0,93	0,943	0,937	38
13:00	1,051	0,424	0	0	4,07	1,74	0,92	0,938	0,934	40
14:00	3,089	2,705	2	2,261	2,39	-0,35	-0,99	1	0,975	32
15:00	3,283	2,829	2,14	2,379	2,42	-0,29	-0,99	1	0,974	33
16:00	3,221	2,804	2,09	2,343	2,37	-0,24	-0,99	1	0,974	33
17:00	3,124	2,72	2,02	2,275	2,34	-0,29	-0,99	1	0,975	32
18:00	1,062	0,392	0	0	3,83	1,61	0,92	0,943	0,939	37
19:00	1,018	0,395	0	0	3,53	1,5	0,92	0,948	0,944	35
20:00	1,032	0,378	0	0	3,5	1,34	0,93	0,95	0,948	33
21:00	1,227	0,373	0	0	4,63	1,48	0,95	0,938	0,933	44
22:00	1,233	0,381	0	0	4,46	1,37	0,96	0,941	0,936	42
23:00	1,323	0,43	0	0	4,76	1,58	0,95	0,937	0,932	44

Observando os resultados apresentados na tabela 2, pode-se notar que no período das 14:00h às 17:00h, para que a GD AS realize o controle dos níveis de tensão ao longo do alimentador - mantendo dentro dos níveis de tensão considerados como adequados, conforme Módulo 8 do PRODIST [7] - a GD AS realizou a provisão

de potência reativa, fornecendo mais energia reativa do que energia ativa.

Analisando a curva de carga do AL03 verifica-se que a GD AS possui capacidade de reserva de potência para atender toda carga do alimentador, uma vez que a mesma possui uma capacidade de geração de 6 MW. Este SA é essencial para operação do sistema mantendo o grau de segurança e qualidade, atuando no equilíbrio entre geração e demanda, durante a operação normal e durante as perturbações.

3. Conclusões

O fornecimento de SA através da GD pode aliviar em grande parte as demandas de sistemas elétricos e conseqüentemente melhorar as condições de operação das redes de distribuição. Isto pode ser confirmado através dos resultados apresentados neste estudo. Nesta avaliação verifica-se que com a inserção de uma GD neste alimentador, a mesma precisa priorizar a compensação dos níveis de reativos ao invés do suprimento de potência ativa, o que evidencia a necessidade da definição da forma de comercialização do fornecimento de SA pelas fontes de GD para as distribuidoras de energia elétrica.

Os mercados competitivos de energia elétrica requerem que os SA sejam desmembrados e que sejam atribuídos preços a estes SA, propondo assim a comercialização separada destes serviços. Esta comercialização poderia ser realizada em subconjuntos, atuando especificamente para os usuários que deles necessitarem, como é o caso das reservas de potência ativa, controle de tensão e potência reativa. Estas informações tornam-se essenciais para que o futuro fornecedor de SA consiga avaliar a viabilidade econômica do investimento a ser realizado.

4. Referências bibliográficas

- [1] M.P. Brito, J.F. Fardin, “Geração Distribuída: Critérios e Impactos Na Rede Elétrica” – II Congresso Brasileiro de Eficiência Energética, IICBEE , agosto de 2007, p. 6.
- [2] T. Kapetanovic, B. M. Buchholz, B. Buchholz, V. Buehner, “Provision of ancillary services by dispersed generation and demand side response – needs, barriers and solutions”, *Elektrotechnik & Informationstechnik*, vol. 125/12, 2008, p. 452.
- [3] Chaves, F. D. M., “Serviços Ancilares Através da Geração Distribuída: Reserva de Potência Ativa e Suporte de Reativos”, Unicamp, Tese de doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos, Fevereiro de 2009, p. 27.
- [4] ANEEL. “Procedimentos para Prestação de Serviços Ancilares de Geração e Transmissão” Resolução nº 265, junho de 2003, p.1.
- [5] Costa, A. S., Souza. A. “Serviços Ancilares”, Labplan e GSP/Labspot. Departamento de Energia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina, Março de 2011, p. 40.
- [6] ANEEL. “Procedimentos para Prestação de Serviços Ancilares de Geração e Transmissão” Resolução nº 265, junho de 2003, p.3.
- [7] ANEEL. “Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional” – PRODIST (Módulo 8), Resolução Normativa nº 345, dezembro de 2008, p.7.