



## **Aplicação de Unidades de Sobrecorrente de Seqüência Negativa em Redes de Distribuição – A Experiência da COSERN**

**Eng. Elves Fernandes da Silva**  
**COSERN**  
[elves.silva@cosern.com.br](mailto:elves.silva@cosern.com.br)

**Eng. Dilson Andrade de Sousa**  
**COSERN**  
[dilson.andrade@cosern.com.br](mailto:dilson.andrade@cosern.com.br)

### **RESUMO**

Este trabalho tem o objetivo de mostrar a experiência obtida com a utilização da unidade de sobrecorrente de seqüência negativa em redes de distribuição, onde observou-se uma melhora significativa da sensibilidade da proteção, bem como uma economia na aplicação de novos equipamentos.

O trabalho apresenta uma metodologia na qual lista os procedimentos para a ativação das unidades de sobrecorrente de seqüência negativa disponíveis nos relés microprocessados associados aos religadores 13,8kV. Em seguida, mostra e discute a aplicação dessa técnica na proteção geral de um alimentador da subestação Boa Cica, mostrando os aspectos técnicos e econômicos, frutos da experiência obtida na Companhia Energética do Rio Grande do Norte - COSERN.

A COSERN já habilitou a unidade de sobrecorrente de seqüência negativa em mais de 100 relés associados a religadores 13,8kV, resultando em uma melhoria substancial da sensibilidade da proteção bem como permitindo liberar mais carga, mantendo a sensibilidade requerida e sem a necessidade, em muitos casos, da instalação de novos religadores ao longo das redes, postergando-se, assim, novos investimentos. Estima-se que para manter a mesma sensibilidade que foi obtida em 100 alimentadores seria necessário um investimento da ordem de R\$ 4.350.000,00 para a instalação de 75 novos religadores.

### **PALAVRAS-CHAVE**

Proteção, Redes de Distribuição, Seqüência Negativa

### **1. INTRODUÇÃO**

Alimentadores de distribuição longos apresentam baixos níveis de curtos-circuitos no final da rede primária, impossibilitando, em muitos casos, a sensibilidade adequada da unidade de sobrecorrente de fase tradicional do relé associado ao religador de proteção geral do alimentador. Em muitos casos, onde se deseja atender a uma demanda considerável, se faz necessária a instalação de religadores ao longo do alimentador para que a sensibilidade proteção para curtos-circuitos entre fase seja garantida.

Atualmente, alguns relés digitais de proteção fornecem como complemento de suas funções unidades de sobrecorrente de seqüência negativa – 51Q, com características de tempo definido ou tempo

inverso, sem nenhum custo adicional. Essas unidades, quando habilitadas, fornecem ao sistema uma melhoria significativa na sensibilidade para faltas bifásicas, permitindo que o tap da unidade de sobrecorrente de fase seja elevado com base apenas na sensibilidade para faltas trifásicas já que a sensibilidade para faltas bifásicas pode ser deixada a cargo da unidade 51Q e a sensibilidade para faltas monofásicas a cargo da unidade 51N. Assim, poderemos liberar mais carga, uma vez que os níveis de curtos-circuitos trifásicos são maiores que bifásicos, e, também, que o ajuste da unidade 51Q não está diretamente relacionado com o quantitativo de carga a ser liberado como o ajustes da unidade de sobrecorrente de fase. Assim, em muitos casos, o ajuste da unidade de sobrecorrente de fase poderá ser elevado sem a necessidade de instalação de novos religadores ao longo da rede de distribuição.

O presente trabalho irá mostrar a experiência da COSERN na utilização de unidades 51Q como forma de melhorar as condições operativas das redes de distribuição, permitindo atender o crescimento da carga com o menor investimento possível, respeitando os requisitos de proteção necessários.

## 2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho parte do pressuposto de que em muitos relés digitais existentes no mercado, como por exemplo o relé modelo SEL-351A da fabricação da Schweitzer, possuem unidades de sobrecorrente que operam com a grandeza 3I<sub>2</sub>, ou seja, possui um pick-up para três vezes a corrente de seqüência negativa calculada pelo relé.

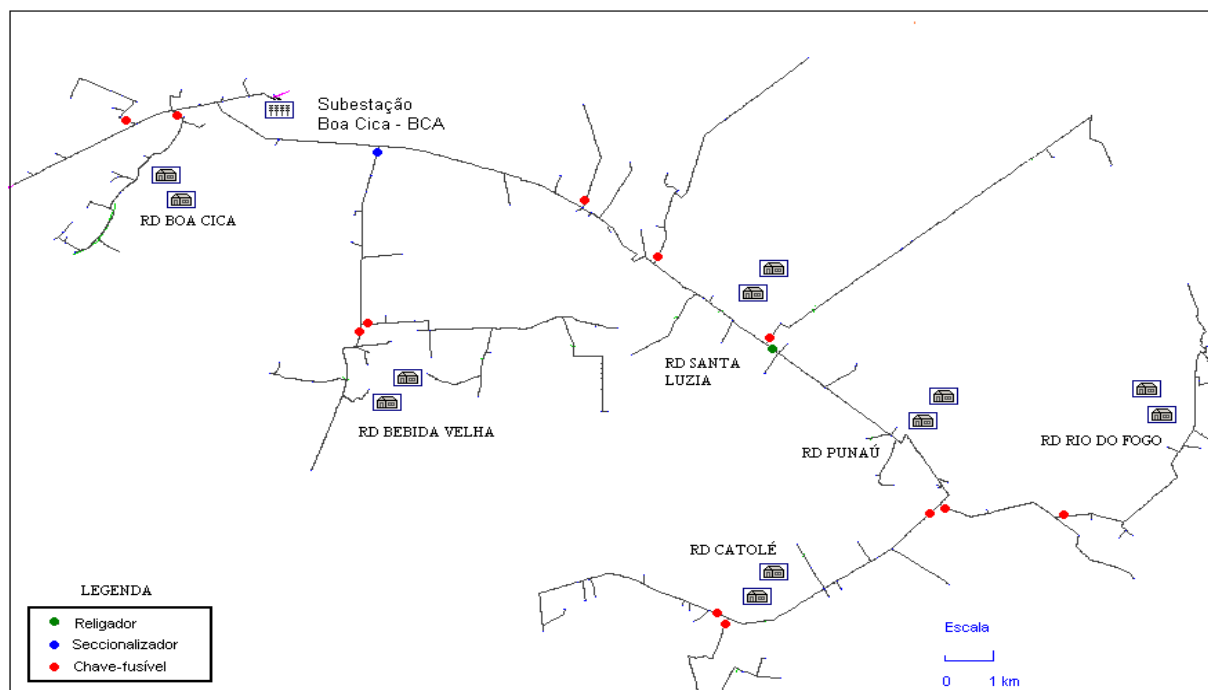
A seguir, serão mostrados os procedimentos adotados neste estudo para a ativação da unidade 51Q disponível nos relés digitais:

1. A corrente de pick-up da unidade 51 de fase deve ser ajustada em no mínimo 30% maior que a corrente de carga máxima prevista para o circuito, evitando que o relé seja desligado por sobrecarga bem como permitindo um crescimento natural da carga. O tap também deve garantir a devida sensibilidade com um múltiplo mínimo de “1,5” para curtos-circuitos trifásicos no final da sua zona de proteção primária;
2. Ajusta-se o tap da unidade 51Q levando em consideração que a corrente de seqüência negativa está presente na corrente de carga, haja vista que a carga não é perfeitamente equilibrada. Com base na observação da presença da corrente de seqüência negativa nas redes da COSERN, estabeleceu-se que um ajuste deve respeitar uma presença mínima de até 30% da relação I<sub>2</sub>/I<sub>carga</sub> máxima. Outro pré-requisito é que a unidade 51Q garanta um múltiplo mínimo de “2” de sensibilidade para curtos-circuitos bifásicos no final da sua zona de proteção primária. Este múltiplo “2” deve assegurar um bom desempenho da unidade 51Q também para faltas bifásicas para terra onde, neste caso, o quantitativo de corrente de seqüência negativa é reduzido em relação à falta bifásica plena.
3. Como o relé mede 3I<sub>2</sub> e pode ser demonstrado que num curto-circuito bifásico 3I<sub>2</sub> é igual a  $\sqrt{3}$  vezes o nível da corrente do curto-circuito bifásico haverá um bom ganho de sensibilidade da unidade 51Q para faltas que possam ocorrer na rede.
4. Para finalizar, é feita a coordenação da curva da unidade de sobrecorrente de seqüência negativa com as curvas dos equipamentos a jusante do relé. No entanto, deve ser observado a necessidade de fazer um alinhamento das curvas tempo x corrente dos equipamentos envolvidos, uma vez que, a depender do tipo do tipo falta analisada, um elemento atuará com base a corrente de fase, eles fusíveis por exemplo, e a unidade 51Q atuará pelo quantitativo 3I<sub>2</sub> existente na corrente de falta.

## 3. EXEMPLO DE APLICAÇÃO: ATIVAÇÃO DA UNIDADE DE SOBRECORRENTE DE SEQÜÊNCIA NEGATIVA DA PROTEÇÃO GERAL DO ALIMENTADOR 01S2-BCA

A subestação Boa Cica está localizada próxima a faixa litorânea do Rio Grande do Norte e possui dois alimentadores: 01S1-BCA e 01S2-BCA. O alimentador 01S2-BCA atende cargas consideradas rurais como os povoados de Boa Cica, Bebida Velha, Santa Luzia, Punaú e Catolé. Além dessas cargas, também atende à RD (Rede de Distribuição) de Rio do Fogo, área de praia em crescente

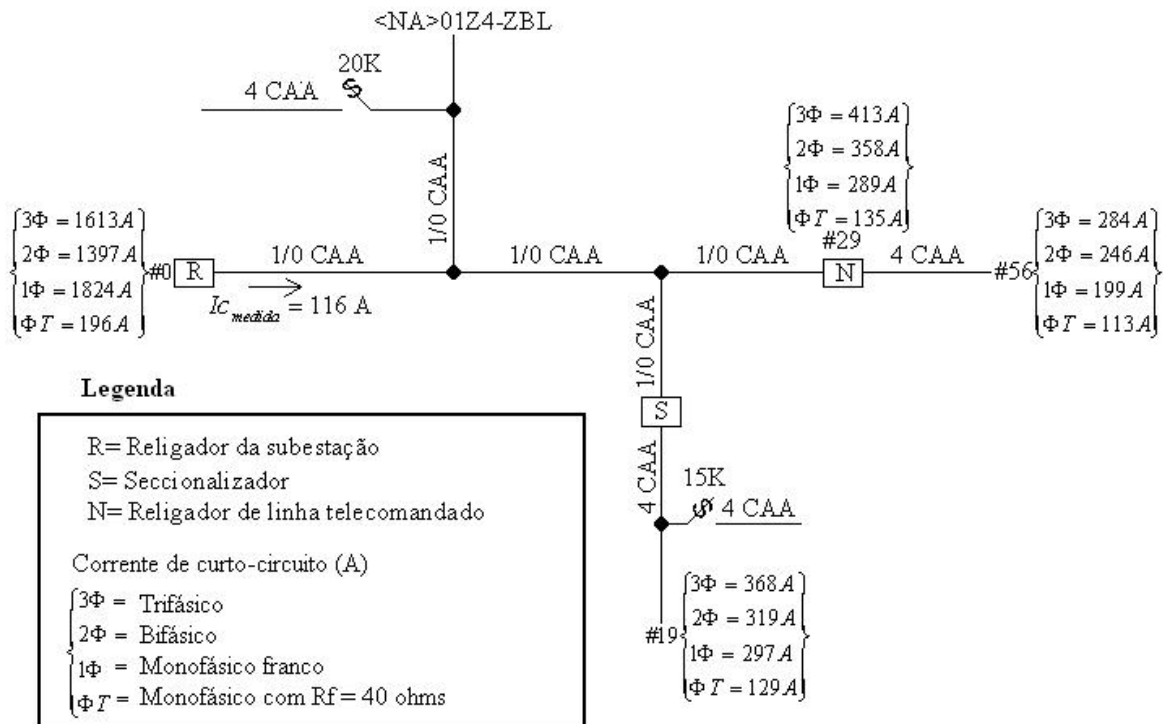
desenvolvimento. A Figura 1 mostra o alimentador georeferenciado, em escala aproximada, dando uma visão panorâmica dos povoados e dos principais equipamentos de proteção.



**Figura 1 - Alimentador 01S2 da Subestação Boa Cica Extraído do Sistema de Informação Georeferenciada da COSERN – GeoRede**

O alimentador 01S2-BCA é extenso, apresentando baixos níveis de curtos-circuitos, o que dificulta a elevação do TAP da unidade 51 de fase do relé associado ao religador 21S2-BCA com a finalidade de liberar uma demanda considerável, permitindo, o crescimento vegetativo do alimentador e, em condições de contingências, receber carga da Subestação Zabelê – ZBL, através do alimentador 01Z4-ZBL, mantendo-se a com sensibilidade para a detecção de faltas na rede adequada .

A seguir, serão mostradas e discutidas três situações distintas: uma situação atual, em que o ajuste da proteção geral do alimentador apresenta tap de fase igual a 180 A e duas situações futuras: elevação do tap da unidade de fase de 180A para 240A e a ativação da unidade de sobrecorrente de seqüência negativa, tap igual a 280A, conservando o tap da unidade 51 de fase em 240A.



**Figura 2 - Diagrama Unifilar Simplificado do Alimentador 01S2 da SE Boa Cica para Análise e Ativação da Unidade de Sobrecorrente de Seqüência Negativa**

Na situação atual, o ajuste do relé associado ao religador 21S2-BCA apresenta tap da unidade 51 de fase igual a 180A, com uma folga de 39,6% - base de proteção (162A) em relação a corrente de carga máxima medida ( $I_{c\text{ medida}} = 116A$ ). A Tabela 1 mostra que com o tap de fase ajustado em 180A a sensibilidade na retaguarda para curtos-circuitos bifásicos no final do alimentador já está comprometida, ou seja, quando da indisponibilidade do religador instalado no ponto 39 há um baixo múltiplo para a corrente de falta bifásica vista pelo religador da subestação.

**Tabela 1 - Múltiplos da Corrente de Pick-up (Ajustada em 180A) da Unidade de Sobrecorrente de Fase do relé associado ao religador da subestação para as Correntes de Curtos-circuitos entre fases**

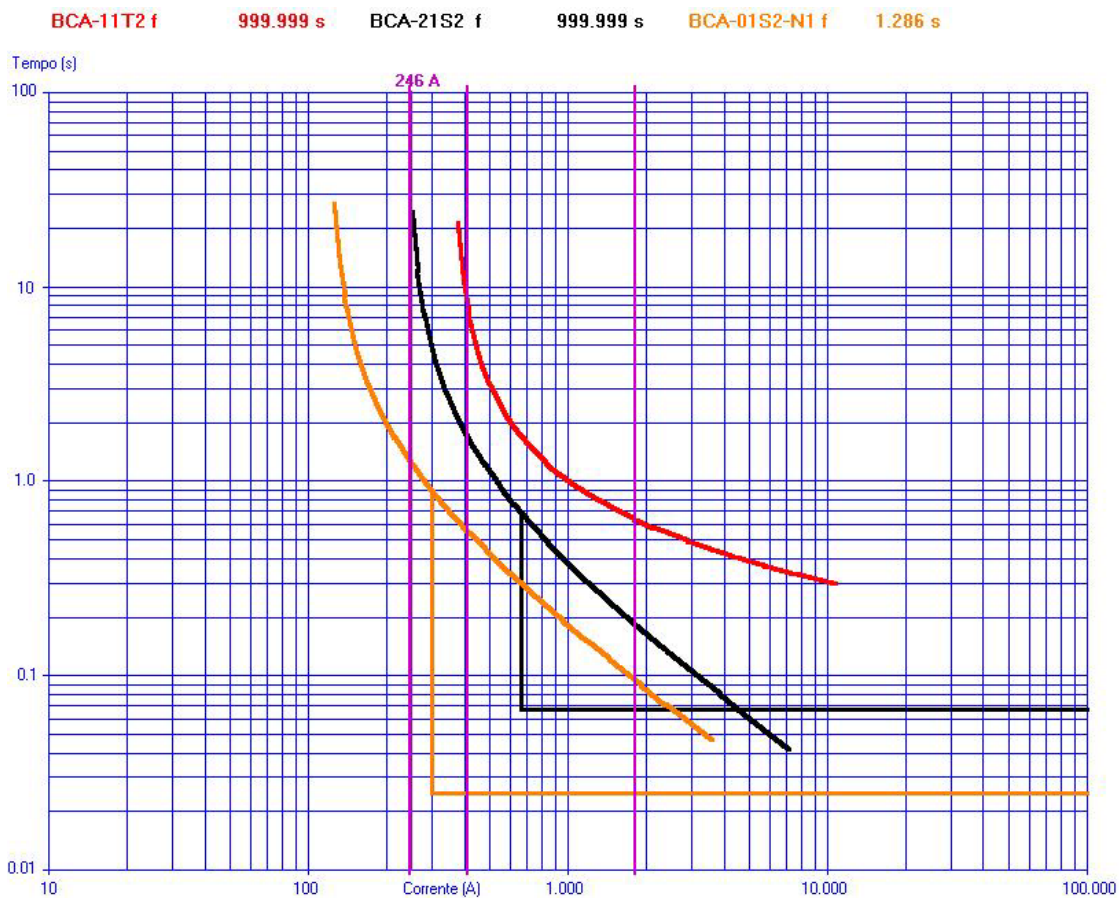
Ponto	Múltiplos da corrente de pick-up para curtos-circuitos entre fases	
	I <sub>cc</sub> 3f	I <sub>cc</sub> 2f
19	2,04	1,77
29	2,29	1,99
56	1,57	1,37

Como já era de se esperar, elevando-se o tap de fase de 180A para 240A, limite suportável pelo cabo 1/0 CAA, visando liberar uma carga de 216A e permitir que este alimentador assumas cargas do alimentador 01Z4-ZBL, a situação piora ainda mais, já que a sensibilidade ficaria ainda mais comprometida, conforme mostra a Tabela 2.

**Tabela 2 - Múltiplos da Corrente de Pick-up (Ajustada em 240A) da Unidade de Sobrecorrente de Fase para as Correntes de Curtos-circuitos entre fases**

Ponto	Múltiplos da corrente de pick-up para curtos-circuitos entre fases	
	I <sub>cc</sub> 3f	I <sub>cc</sub> 2f
19	1,53	1,33
29	1,72	1.5
56	1,18	1

As curvas dos equipamentos de proteção BCA-01S2-N1 (Religador de linha telecomandado), BCA-21S2 (Proteção geral do alimentador com a corrente de pick-up ajustada em 240A) e BCA-11T1 (Disjuntor geral da subestação), estão mostradas no coordenograma da Figura 3.



**Figura 3 - Coordenograma com as curvas das unidades 51 de fase, sem a ativação da unidade de seqüência negativa do religador 21S2-BCA**

Percebe-se que a coordenação e seletividade entre os equipamentos foram alcançadas, como mostra a Figura 3, porém, além do religador 21S2-BCA não possuir sensibilidade adequada também apresenta um tempo de atuação bastante elevado, em torno de 20 s, para curtos-circuitos bifásicos no final do alimentador.

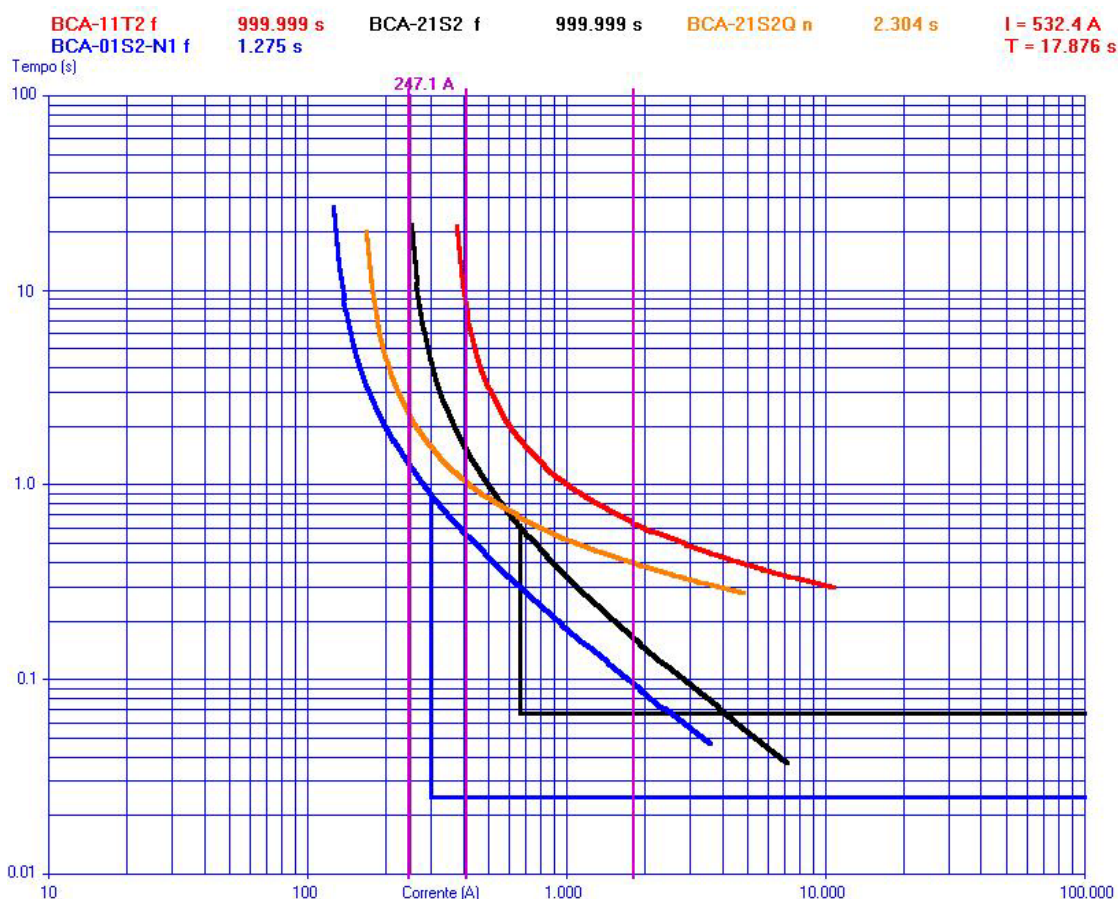
Para melhorar o ajuste do religador 21S2-BCA propõe-se manter o tap da unidade 51 de fase em 240A e ativar a unidade de sobrecorrente de seqüência negativa com tap ajustado em 280A - folga da ordem de 39% entre na relação I<sub>2</sub>/I<sub>51\_fase</sub> do ajuste da proteção do religador 21S2-BCA de proteção geral do alimentador. A Tabela 3 mostra que houve uma melhoria significativa da sensibilidade para os curtos-circuitos bifásicos.

**Tabela 3 - Múltiplos da Corrente de Pick-up (Ajustada em 240A) da Unidade de Sobrecorrente de Fase e da Corrente de Pick-up (Ajustada em 280A) da Unidade de Sobrecorrente de Seqüência Negativa para as correntes de curtos-circuitos entre fases**

Ponto	Múltiplos da corrente de pick-up para curtos-circuitos entre fases	
	Icc_3f (51F)	Icc_2f (51Q)
19	1,53	1,97
29	1,72	2,21
56	1,18	1,5

Mesmo assim, observa-se através da Tabela 3 que a sensibilidade do religador 21S2-BCA para curtos-circuitos trifásicos no final do alimentador fica comprometida, porém considerando que os curtos-circuitos trifásicos são raros e, ainda, que o equipamento só deverá atuar quando da indisponibilidade do religador de linha para um defeito no final do alimentador, torna-se tecnicamente viável a aplicação do procedimento.

A curvas dos equipamentos, após habilitada a unidade 51Q do 21S2-BCA, são mostradas através do coordenograma da Figura 4 onde a unidade 51Q está alinhada para correntes de falta bifásicas.



**Figura 4 - Coordenograma com as curvas das unidades 51 de fase, com a ativação da unidade de seqüência negativa do religador 21S2-BCA**

Pode-se observar pela Figura 4 que houve um ganho bastante significativo no tempo de atuação do religador, reduzindo-se de 20 s para aproximadamente 2,5 s em faltas bifásicas no final do alimentador, ajustando-se apenas a curva Normalmente Inversa padrão IEC da unidade 51Q, de modo a obter coordenação com as curvas dos equipamentos a jusante do 21S2-BCA.

Já habilitada a unidade 51Q, pode-se perceber facilmente pela Tabela 4 que considerando para o alimentador um crescimento de 5% a.a., num horizonte de cinco anos, no final do 5º ano, com o *tap* da unidade 51 de fase ajustado em 240A, o religador ainda apresentará uma folga de 62% em relação a corrente de carga máxima planejada. Nessas condições, o ajuste permitirá ao 21S2-BCA receber carga proveniente do alimentador 01Z4-ZBL, dando mais confiabilidade ao sistema com sensibilidade adequada.

**Tabela 4 - Correntes de carga do alimentador 01S2-BCA considerando um crescimento planejado de 5% ao ano, num horizonte de 5 anos**

	1º Ano	2º Ano	3º Ano	4º Ano	5º Ano
Ic_01S2-BCA (A)	122	128	134	141	148

Quanto ao aspecto econômico, é indiscutível o ganho obtido com a ativação da unidade de sobrecorrente de seqüência negativa, disponível nos relés digitais sem nenhum custo adicional. Por exemplo, caso esse recurso não estivesse disponível no relé associado ao religador 21S2-BCA seria necessária a instalação de um religador de linha telecomandado para viabilizar o atendimento a demanda de crescimento do alimentador, sem comprometer as condições de contingências, já que o alimentador precisa receber carga do 01Z4-ZBL. Isso significa postergar um investimento, por pelo menos cinco anos, da ordem de R\$ 58.000,00, conforme mostra a Tabela 5.

**Tabela 5 - Custos referentes a aquisição e instalação de um religador telecomandado com trabalho em linha viva**

Custo de um religador Telecomandado Novo	R\$ 50.000,00
Instalação do Religador Telecomandado	R\$ 8.000,00
Custo total	R\$ 58.000,00

A COSERN já habilitou a unidade de sobrecorrente de seqüência negativa em mais de 100 relés associados a religadores 13,8kV, as quais foram ativadas por se tratar de alimentadores extensos, apresentando baixos níveis de curtos-circuitos. Admitindo-se que seria necessária a instalação de religadores em pelo menos 75% dos alimentadores para manter a mesma sensibilidade com a ativação da unidade 51Q haveria a necessidade de pelo menos 75 novos religadores. Assim, estaremos postergando, em pelo menos cinco anos, um investimento da ordem de R\$ 4.350.000,00.

#### 4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A metodologia mostrou-se eficiente, já que ao longo de dois anos não foi verificado nenhum problema de descoordenação envolvendo a unidade de sobrecorrente seqüência negativa.

A COSERN já está estendendo a aplicação da metodologia a outros alimentadores considerados extensos e, também, já faz parte de um requisito para a compra de novos relés digitais para proteção de alimentadores que estes possuam a unidade de sobrecorrente de seqüência negativa disponível.

Recomenda-se, antes de aplicar a técnica, verificar o grau de desequilíbrio máximo da carga, além de prever todas as situações as quais possam causar desequilíbrio considerável no sistema, podendo provocar a atuação do religador.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 Schweitzer III, Edmund O. *Coordenação e Aplicação do Elemento de Sobrecorrente de Seqüência Negativa na Proteção da Distribuição*. Pullman / Washington.

2 Schweitzer III, Edmund O. *Renascimento das Grandezas de Seqüência Negativa na Proteção da Distribuição*. Pullman / Washington.

3 Sousa, Dilson Andrade de. *Chaves-fusíveis by-pass de Religadores 13,8kV*. XVI SENDI, Brasília / DF, 2004.