



## SGR - Protocolo de Roteamento para Smart Grid

Ricardo Rodrigues de Araújo<sup>1</sup>, Pedro Klécio Cardoso<sup>2</sup>, Francisco José Alves de Aquino<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Doutor em Telecomunicações, professor de Telemática do IFCE - rra@ifce.edu.br

<sup>2</sup> Doutor em Redes de Telecomunicações, professor de Telemática do IFCE - klecius@ifce.edu.br

<sup>3</sup> Doutor em Engenharia Elétrica, professor de Telemática do IFCE - fcoalves\_aq@ifce.edu.br

**Resumo:** A tecnologia AMR (*Automatic Meter Reading*), vem sendo amplamente utilizada nas redes de distribuição de energia inteligentes, os chamados *Smart Grids*. O uso desta tecnologia pressupõe a existência de uma infraestrutura de comunicação adequada às necessidades da rede. Neste trabalho é proposto um protocolo de roteamento para redes *mesh* adaptado às características de uma rede de medidores AMR. Este protocolo privilegia o estabelecimento de rotas com o menor número de saltos e tem capacidade de manutenção de rota de maneira a minimizar a probabilidade de falha de comunicação entre nós por falta de rota. O protocolo foi avaliado através de simulações e uma rede piloto foi implementada como forma de testá-lo. Os resultados obtidos mostram que o protocolo proposto atende às necessidades de uma rede AMR.

**Palavras-chave:** AMR, medição de energia, Mesh, protocolo de roteamento, *Smart Grid*

### 1. INTRODUÇÃO

Sistemas de distribuição de energia elétrica sofreram diversas transformações tecnológicas desde os primórdios das primeiras grandes plantas de geração até os dias de hoje. A crescente demanda atual de energia e a limitação dos recursos naturais fazem com que haja mudanças consideráveis nos antigos paradigmas de geração e distribuição de energia elétrica. Assim, não basta somente gerar cada vez mais energia. É preciso usá-la de forma eficiente e racional (EUROPEAN 2010). Para tanto, torna-se necessário o monitoramento da energia desde sua geração até o usuário final. Este conceito de rede de distribuição inteligente, chamada de *Smart Grid* (HASHMI 2011), vem se desenvolvendo e consolidando nos últimos anos e tem como um dos elementos chaves a medição inteligente.

A medição convencional objetiva somente o registro de consumo para fins de tarifação e portanto não atende às novas necessidades. Além disto, ela apresenta diversas limitações, dentre as quais:

- altamente dependente do fator humano e, portanto, sujeito a erros;
- problemas de acessibilidade, principalmente em meio rural, dificultam a leitura periódica de dados de consumo;
- tarifação feita, em alguns casos, através de estimativa de consumo;
- auditoria de consumo de energia feita de forma imprecisa;
- não fornece informações sobre curvas de demanda ao longo do dia, qualidade de energia, balanceamento de carga, etc;
- facilidade de realização de fraudes.

Os primeiros medidores eletromecânicos estão sendo substituídos por dispositivos eletrônicos cada vez mais dotados de inteligência e são, hoje, capazes de realizar diversas outras funções além do simples registro de consumo, tais como: medição da qualidade e disponibilidade de energia, geração de alarmes para queda de fornecimento e violação do medidor, capacidade para realização de ações remotas como leitura, corte e religamento. Este conceito de medição inteligente, chamado de AMR (*Automatic Meter Reading*), proporciona a implementação de novas funcionalidades e serviços para as empresas de distribuição de energia, destacando-se o controle de carga, controle de perdas,

monitoramento em tempo real dos parâmetros da rede da subestação ao usuário final, venda de energia na modalidade pré-paga, tarifação automática, realização de corte e religamento de forma remota, etc (DERBEL, 2008). Diversas empresas, não só distribuidoras de energia elétrica, mas também de água e gás, vêm substituindo seu parque de medição por dispositivos AMR. Acredita-se que nos países desenvolvidos, nos próximos anos, toda a medição de energia elétrica, água e gás de grandes consumidores será feita através de dispositivos AMR (CHEN, 2011).

A tecnologia AMR é baseada em dois pontos fundamentais: 1 – medição, tratamento da informação e armazenamento de dados nos medidores e 2 – comunicação entre os medidores e sistema de banco de dados das companhias distribuidoras. No que diz respeito à comunicação, há três tipos de redes usadas: fixas, sem fio e híbridas. Redes fixas possuem maior largura de banda e geralmente são mais confiáveis, no entanto o custo de implantação das mesmas é elevado, principalmente quando não há uma infraestrutura de suporte para a rede. A tecnologia mais usada em redes fixas, sobretudo por companhias de distribuição de energia, é a PLC (*Power Line Communication*) (CHEN, 2011).

Redes sem fio não dependem de infraestrutura pré-existente e, portanto, possuem maior facilidade de implantação. Problemas referentes à perda de dados podem ser resolvidos através de protocolos que garantam a entrega de pacotes. O emprego de topologia *mesh* permite o uso de transceptores de baixa potência em ambientes onde a densidade de dispositivos AMR é elevada. Tais vantagens tornam o uso de tecnologias sem fio atrativo para a implantação de uma rede de medição automática.

O uso de protocolos de roteamento eficientes é de fundamental importância para o bom funcionamento de uma rede de medidores AMR. Neste artigo, é proposto um protocolo, chamado de SGR (*Smart Grid Routing*), adaptado às particularidades de uma rede *mesh* com múltiplos saltos aplicado a um sistema de medição AMR. O protocolo possui capacidade de reconfiguração automática de rotas e privilegia rotas com o menor número de saltos.

## 2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Uma rede AMR é composta por milhares de pontos de coleta de dados, os medidores inteligentes, os quais enviam as informações registradas para as companhias de distribuição. O envio dos dados de um medidor até o banco de dados da companhia é intermediado por um nó especial chamado de concentrador. Assim, o banco de dados central se comunica com nós concentradores. Estes, por sua vez, gerenciam grupos de medidores em uma determinada região. A comunicação entre um nó concentrador e os medidores deve ser confiável e apresentar baixo custo. Uma solução largamente usada é a utilização de uma rede *mesh* sem fio, a qual é inerentemente mais confiável do que outras soluções de rede sem fio (DANIEL 2005, 2006). A maior confiabilidade advém do fato de que há diversas possibilidades de rotas entre os elementos da rede. Em caso de quebra de uma rota, novas poderão ser estabelecidas através de outros nós. Este tipo de comunicação através de múltiplos saltos entre um medidor e um nó concentrador permite o uso de rádios de baixa potência, o que reduz o custo dos equipamentos. A figura 1 exemplifica uma rede AMR, destacando algumas rotas de comunicação entre medidores e concentrador.

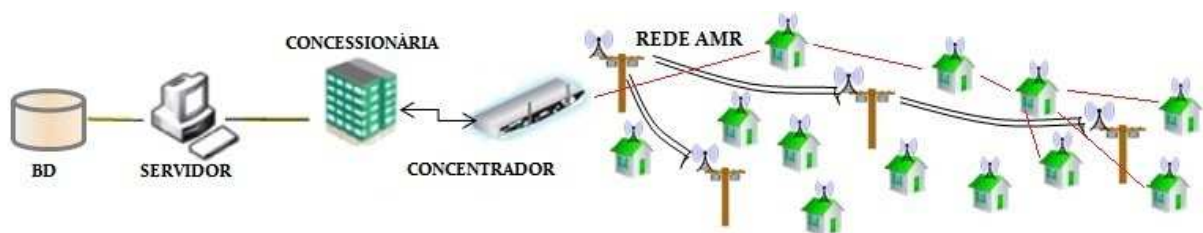


Figura 1 - Rede AMR

As características de uma rede de comunicação para dar suporte a uma rede AMR devem ser tais que: permitam a inclusão de novos nós na rede de forma fácil e rápida, possuam confiabilidade na transmissão de pacotes, provejam robustez necessária para restabelecimento de rotas em caso de perda



de rota por motivos diversos, sejam capazes de estabelecer comunicação fim-a-fim entre nós distantes através de múltiplos saltos e produzam baixa latência. Do ponto de vista financeiro, o custo dos equipamentos envolvidos deve ser baixo de forma a viabilizar a implantação da rede em larga escala. O algoritmo de roteamento deve levar em conta estas características. Há várias soluções propostas para redes *Ad Hoc* de sensores sem fio.

Os protocolos de roteamento em redes *Ad Hoc* sem fio são classificados em duas categorias: pró-ativos e reativos. Em protocolos pró-ativos, os nós da rede mantêm uma tabela de roteamento de tal forma que no momento do envio de uma mensagem para qualquer outro nó da rede, uma rota válida já existe. Para tanto, aplica-se métodos para atualização das rotas. Isto implica num consumo da banda passante para a difusão e atualização das tabelas de rotas (KIM, 2007). Já em um protocolo reativo, a rota é estabelecida no momento que antecede o envio de uma mensagem. Desta forma, há um atraso inicial para o envio de dados, por outro lado, diminui-se o tráfego de mensagens de controle comparativamente aos protocolos pró-ativos, o que os torna mais adequados para redes com um número grande de nós e com elevada mobilidade.

Dentre os principais protocolos, destacam-se: o protocolo DSDV (*High Dynamic Destination Sequenced Distance Vector Protocol*) que é um protocolo pró-ativo baseado no algoritmo de roteamento Bellman-Ford (utiliza a abordagem vetor de distância); o protocolo DSR (*Dynamic Source Protocol*) que implementa uma busca por rota que visa diminuir o tráfego de pacotes de solicitação pela rede; o protocolo AODV (*Ad Hoc On demand Distance Vector Protocol*), de natureza reativo, que agrega características dos protocolos DSDV e DSR (CHALERMEK, 2010) (RUA, 2011).

### 3. SOLUÇÃO PROPOSTA

A solução de comunicação SGR para uma rede de medidores AMR proposta neste trabalho apresenta algumas características que não são previstas nos protocolos mencionados previamente: os nós da rede não possuem mobilidade; não há necessidade que todos os nós possuam uma rota para os demais nós da rede; somente o nó concentrador precisa manter uma tabela contendo os demais nós; um nó terminal (medidor AMR) precisa de entradas na tabela de rota para o nó concentrador e para nós terminais para os quais ele atue como um nó intermediário na rota; rotas com menor número de saltos são priorizadas como forma de reduzir a latência; rotas permanecem estáticas, sendo modificadas somente em caso de quebra da mesma.

Por não haver mobilidade, os protocolos reativos não são adaptados uma vez que a rota não necessita ser atualizada a cada transmissão, podendo manter-se estática até que haja uma interrupção da mesma por pane em um dos nós ou falha na comunicação por outros motivos (por exemplo desvanecimento profundo). Pelo mesmo motivo, é desnecessária a troca freqüente de mensagens usadas nos protocolos pró-ativos entre os nós para manter as tabelas atualizadas e funcionais. Neste trabalho, é proposto um protocolo que reúne algumas características de protocolos pró-ativos e reativos de maneira a formar um conjunto de regras que melhor se adaptem às características da solução de comunicação sugerida para a rede de medidores AMR.

O protocolo SGR possui duas fases de funcionamento. A primeira é responsável por estabelecer uma rota entre os nós da rede. A segunda é responsável por fazer a manutenção destas rotas de tal forma que uma quebra de rota seja identificada e consertada, preferencialmente, antes que uma mensagem de dados seja enviada entre os nós participantes da rota.

Na fase de descoberta de rota, cada medidor introduzido na rede iniciará o processo que consiste no envio em *broadcast* aos seus vizinhos de um pacote de requisição de rota chamado de *Route Request* (RREQ), o qual possuirá os campos: Número de sequência, Identificador de requisição de rota, Endereço da fonte, Endereço do destino, Números de saltos, Lista de Endereços (do nó1, do nó2, do nó 3, ...). Os campos 'Número de sequência' e 'Endereço da fonte' identificam unicamente um pedido de requisição de rota, a fim de que não haja repetições (loops) desnecessárias e congestionamento na rede. Desta maneira, os nós intermediários só replicarão na rede pacotes de requisição de rotas que não tenham sido processados anteriormente ou pacotes que já tenham sido processados, porém contendo um número de saltos inferior ao anteriormente processado. O 'identificador de requisição de rota' tem a finalidade de diferenciar este pacote dos demais pacotes que



circulam na rede. O campo 'Endereço de destino' contém o número único de rede do nó que se deseja alcançar. O campo 'Número de saltos' indica quantos saltos o pacote deu até chegar ao nó atual e servirá como critério para escolha de rota no caso de haver mais de um caminho possível entre fonte e destino. Os campos 'Lista de Endereços de nós' registram os endereços dos nós terminais por onde a mensagem passou e, se a rota for escolhida, será o caminho por onde o pacote passará de volta. Quando um nó terminal receber uma requisição de rota, este comparará o endereço do destino com o seu próprio endereço e se estes não coincidirem o nó terminal irá buscar em sua tabela de roteamento se há uma rota para o destino. Se o endereço destino não for o dele e o terminal não conhecer uma rota ao destino, ele irá colocar seu endereço no campo 'Lista de Endereço de nós', irá incrementar o valor no campo 'Número de saltos' e retransmitirá em *broadcast* o pacote aos seus vizinhos. Este procedimento será repetido até que se alcance o destino final descrito no pacote ou algum nó que conheça a rota para chegar ao destino.

Considerando que algum nó receba este pedido e não seja o destino final, porém conheça a rota para se chegar ao nó de destino descrito no pacote, este não mais retransmitirá o pacote de requisição em *broadcast* aos seus vizinhos. Ao invés disto, ele irá transmitir o pacote de requisição em *unicast* até o nó destino. Contudo, os procedimentos de acrescentar seu endereço ao campo 'Lista de Endereço de nós' e incrementar o valor do campo 'Número de saltos' serão repetidos até que o pacote chegue ao nó destino. De fato, a única diferença que há após o pacote chegar a um nó que conheça a rota até o destino é que o mesmo deixará de ser transmitido em *broadcast* pela rede e passará a ser transmitido em *unicast* até o destino.

Ao receber a requisição de rota e verificar que o endereço contido no campo 'Endereço do destino' é o seu próprio endereço, o nó não mais retransmitirá o pacote de requisição. O nó destino esperará por um tempo determinado para verificar se outros pacotes relativos à mesma requisição chegam a ele através de outras rotas. Ao fim deste tempo, o nó destino escolherá a melhor rota como sendo a que contem o menor número de saltos. Após escolher a melhor rota, ele irá enviar um pacote chamado *Route Response* (RREP) ao nó que gerou a requisição de rota (nó cujo endereço está identificado no campo 'Endereço da Fonte').

O pacote RREP possui os campos: Número de sequência, Identificador de Resposta de Rota, Endereço da Fonte, Endereço do Destino, Números de Saltos, Endereço do nó1, Endereço do nó2, ...

O 'Número de sequência' deve ter o mesmo valor do respectivo campo do pacote RREQ que deu origem ao pedido de rota. O 'identificador de resposta de rota' tem a finalidade de diferenciar este pacote dos demais pacotes que circulam na rede como parte do protocolo de descoberta de rotas. O 'Endereço da fonte' indica o nó que gerou o pedido de rota. O 'Endereço de destino' indica para qual terminal se quer estabelecer uma rota na rede. O 'Número de saltos' quantifica os saltos dados por esta mensagem para chegar do terminal solicitante até o nó destino. O campo 'Lista de Endereço de nós' registram os endereços dos terminais por onde a mensagem passou. Estes campos serão os mesmos do pacote de requisição de rota acrescido do endereço do terminal que respondeu à requisição.

O pacote RREP ao passar pelos nós da rede irá servir para o preenchimento das tabelas de roteamento de cada nó. A tabela de roteamento possui os seguintes campos: Endereço do destino, Próximo salto, Número de saltos até o destino.

Na tabela local de roteamento o campo 'Endereço de destino' representa o endereço do terminal de destino de um pacote qualquer. O campo 'Próximo salto' indica qual será o próximo terminal para onde será retransmitido um pacote. O campo 'Número de saltos' indica a quantidade de retransmissões necessárias para se alcançar o destino.

O pacote RREP será transmitido de forma *unicast* partindo do nó destino e indo até o nó fonte, passando, no sentido inverso, pelos nós listados no campo 'Lista de Endereço de nós'. Um nó, ao receber o pacote RREP, irá verificar se o campo 'Endereço da Fonte' é seu próprio endereço. Se sim, o pacote não será retransmitido, o campo 'Número de sequência' será conferido para averiguar se corresponde a uma requisição de rota em aberto. Se sim, o nó fonte irá atualizar sua tabela de roteamento colocando o endereço do nó destino, o endereço do próximo nó e o número de saltos necessários para alcançar o destino. Se o endereço da fonte não corresponde ao seu próprio endereço, o nó irá verificar se sua tabela de roteamento já contém rota para o nó destino e para o nó fonte. No



caso de não possuir rota para o nó destino, ele preencherá o campo 'Endereço de destino' de sua tabela com o endereço do nó destino contido no pacote RREP. Em seguida, preencherá o campo 'Próximo salto' de sua tabela com o endereço do nó vizinho a ele na direção do destino. Para isto, ele consultará a lista de endereços por onde o pacote RREQ passou (campo 'Lista de Endereço de nós'), achará sua posição na lista e identificará o endereço de seu vizinho na direção do nó destino. Também será necessário contar o número de saltos até o nó destino e preencher o campo 'Número de saltos' com este valor. No caso de não possuir rota para o nó fonte, ele preencherá o campo 'Endereço de destino' de sua tabela com o endereço do nó fonte contido no pacote RREP. Em seguida, preencherá o campo 'Próximo salto' de sua tabela com o endereço do nó vizinho a ele na direção do destino usando o mesmo procedimento descrito anteriormente. Em seguida preencherá o campo 'Número de saltos' de sua tabela de rotas.

Um nó que participa da rota entre um nó terminal e o nó concentrador tem rotas para todos os nós intermediários entre ele e o nó terminal em questão. Desta forma, ao receber um pacote RREP, cada nó intermediário verificará se dispõe de rota para cada um dos nós listados no campo 'Lista de Endereço de nós' que esteja entre ele e o nó terminal (nó fonte ou nó destino dependendo do sentido da requisição de rota). Se não tiver uma rota, preencherá sua tabela de roteamento da maneira que foi descrita anteriormente, colocando no campo 'Endereço de destino' o endereço do nó intermediário correspondente.

No caso de uma rota entre um nó fonte e um nó destino ser interrompida, a rota deve ser apagada e uma nova requisição de rota deve ser solicitada. Também é possível que o concentrador, durante o processo de análise dos pacotes RREQ, descubra uma rota melhor para um determinado nó. Nesta situação, a rota antiga deve ser apagada e uma nova rota estabelecida.

O procedimento para apagar uma rota já existente se dará através do envio de um pacote Route Delete (RDEL). Este pacote tem o formato: Número de seqüência, Identificador de atualizador de rota, Endereço da fonte, Endereço do destino. O 'Número de seqüência' identifica o pacote para que não haja duplicações na rede. O 'Identificador de atualizador de rota' identifica a função do pacote. O 'Endereço da fonte' identifica o nó que deseja eliminar uma rota antiga e o 'Endereço do destino' representa o endereço final da rota a ser apagada.

Na fase de manutenção de rotas, o nó concentrador, o único a possuir rotas para todos os demais nós, envia um pacote chamado de Keep Alive para os nós da rede. Cada nó, ao receber este pacote envia ao concentrador uma resposta adicionando seu endereço. Os demais nós participantes da rota também adicionarão seus endereços ao pacote de resposta de forma a informar que a rota dos mesmos também está ativa. O concentrador inicia este processo enviando pacotes Keep Alive para os nós mais distantes (maior número de saltos) como maneira de diminuir o número de pacotes necessário para testar todas as rotas. Caso algum nó deixe de responder ao Keep Alive, a rota é considerada interrompida.

Um nó, após descobrir sua rota atual até o destino está interrompida, envia o pacote RDEL para o próximo nó da rota em direção ao nó destino. Um nó, ao receber um pacote RDEL, verifica o endereço do nó destino em sua tabela de roteamento, apaga a entrada correspondente em sua tabela e retransmite o pacote RDEL para o próximo nó da rota antiga. Este procedimento é repetido até que o pacote chegue ao nó destino. Este, ao receber o pacote RDEL, apagará sua entrada na tabela de roteamento correspondente ao endereço do nó fonte. Ao final deste procedimento toda a rota antiga terá sido apagada das tabelas de roteamento dos nós que participavam da rota em questão. O nó que gerou o pacote RDEL (nó fonte) deverá enviar um pacote RREQ até o nó destino a fim de estabelecer uma nova rota até ele. A tabela 1 compara os protocolos DSDV, DSR, AODV e SGR ressaltando os pontos positivos de cada uma.

O procedimento de descoberta de rota proposto tem vários pontos em comum com ou outros protocolos. Entretanto o pacote RREQ deve ser transmitido desde a fonte até o destino mesmo que encontre um nó intermediário que conheça uma rota para o destino. Isto é feito para que, caso o solicitante seja um nó terminal que esteja sendo incluído na rede, o nó concentrador tome conhecimento de sua entrada na rede. Outro motivo para isto deve-se ao fato de que com o



procedimento adotado, as tabelas de rotas de todos os participantes de uma rota serão atualizadas, diminuindo o tráfego de pacotes de requisição de rotas.

Tabela 1 Comparativo entre os protocolos.

Característica	Protocolos			
	DSDV	DSR	AODV	SGR
Tipo	Proativo	Reativo	Reativo	Híbrido
Nós armazenados na rota	Só próximo salto para o destino	Todos os nós da rota	Só próximo salto para o destino	Só próximo salto para o destino
Entradas na tabela de rotas	Para todos os nós	Para os nós de interesse	Para os nós de interesse	Para os nós de interesse
Algoritmo Distance Vector	Sim	Não	Sim	Sim
Largura de banda requerida	grande	grande	pequena	pequena
Memória equerida	grande	grande	pequena	pequena
Otimizado para nós estáticos	Não	Não	Não	Sim
Única requisição cria rota para nó fonte, intermediários e destino	Não necessariamente	Não necessariamente	Não necessariamente	Sempre

#### 4. RESULTADOS

A validação do protocolo e a avaliação de seu desempenho foram feitas através de simulações e de testes em campo. Foram testadas as capacidades de estabelecer rotas com o menor número de saltos e de restabelecer rotas em caso de falhas de nós da rede. A simulação foi feita usando o aplicativo NS-2, no qual foi implementada uma aplicação contendo as regras de roteamento do algoritmo SGR a fim de avaliar a capacidade de estabelecer todas as rotas usando o menor número de saltos e restabelecer rotas interrompidas. A aplicação permite simular redes com qualquer número de nós. Neste estudo foram simuladas redes com 15, 50 e 100 nós. Na figura 2 é mostrada a rede com 15 nós. Nesta rede, cada nó pode se comunicar apenas com os nós vizinhos. Nesta figura, é destacada (linha fina) a rota criada entre o nó concentrador e o nó 1 (rota 0-5-4-3-2-1). Como pode ser observado, a rota escolhida apresenta o menor número de saltos possível. De acordo com o algoritmo, o nó concentrador possui rotas para os demais nós. Estes, por sua vez, possuem rotas para o concentrador e para os nós para os quais ele faz parte da rota. Assim, nós na extremidade da rede só possuem rotas para o concentrador. Isso implica numa grande economia de memória nos nós da rede. Na tabela 2 é mostrado de forma resumida as rotas armazenadas no concentrador, no nó 8 (nó intermediário) e nó 6 na extremidade da rede.

Tabela 2. Tabela de rotas do concentrador, de um nó intermediário e de um nó na extremidade da rede.

Rotas antes do desligamento do nó 3								
Nó 0			Nó 8			Nó 6		
Nó destino	Próximo nó	Saltos	Nó destino	Próximo nó	Saltos	Nó destino	Próximo nó	Saltos
1	5	5	0	9	3	0	7	5
2	5	4	7	7	1			
3	5	3	6	7	2			
...	...	...						
14	15	2						
15	15	1						

Para simular a capacidade de restabelecimento de rotas interrompidas, foi feita uma simulação retirando-se o nó 3 da rede. Após isto, novas rotas foram criadas, pois o protocolo SGR foi capaz de

restabelecer todas as rotas interrompidas, mantendo o critério de seleção da menor rota possível. A nova rota criada é destacada (linha grossa) na figura 2. As entradas na tabelas de roteamento dos nós participantes da rota entre concentrador e nó 1 antes e depois do desligamento do nó 3 são mostradas na tabela 3. Os mesmos resultados foram obtidos em simulações com redes de maior número de nós.

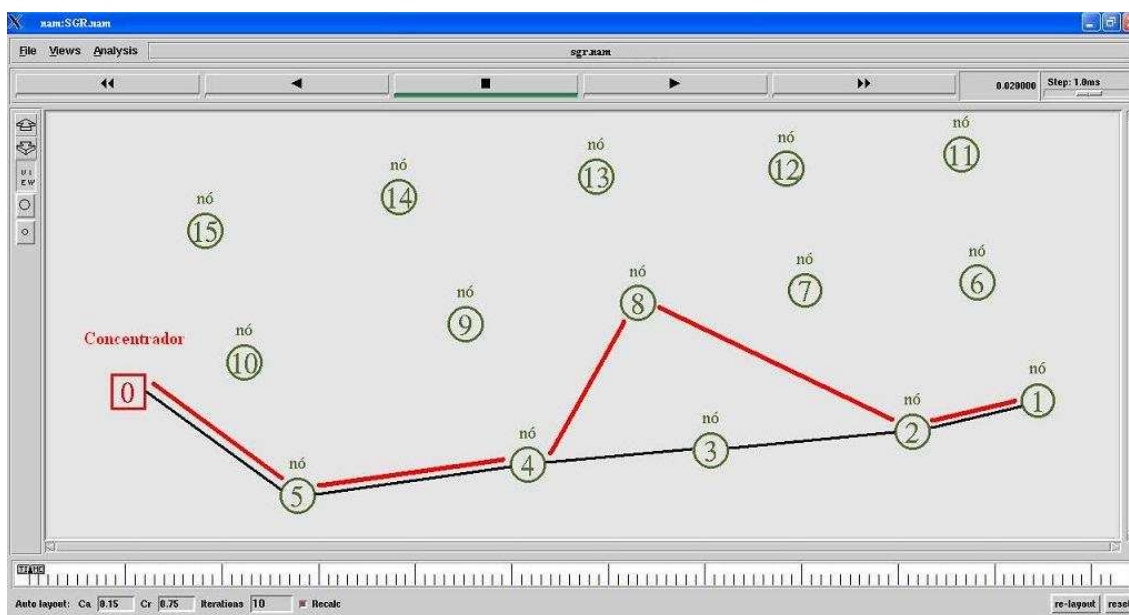


Figura 2. Avaliação do protocolo de roteamento *Smart Grid Routing* usando o simulador Network Simulator

Tabela 3. Restabelecimento de rota após desligamento de um nó.

Rotas antes do desligamento do nó 3																	
Nó 0			Nó 5			Nó 4			Nó 3			Nó 2			Nó 1		
D	P	S	D	P	S	D	P	S	D	P	S	D	P	S	D	P	S
1	5	5	1	4	4	1	3	3	1	2	2	1	1	1	0	2	5
Rotas após o desligamento do nó 3																	
Nó 0			Nó 5			Nó 4			Nó 8			Nó 2			Nó 1		
D	P	S	D	P	S	D	P	S	D	P	S	D	P	S	D	P	S
1	5	5	1	4	4	1	8	3	1	2	2	1	1	1	0	2	5

D = Destino; P = Próximo nó; S = Número de saltos até o destino

Foi implementada, através de um projeto de pesquisa fruto da parceria entre o Instituto Federal do Ceará e a Companhia Energética do Maranhão, uma rede piloto de medidores AMR implementando o protocolo SGR. Foram instalados na rede da concessionária de energia, um concentrador e 54 nós de medição. Foram testadas as capacidades de estabelecimento de rotas e reconstrução daquelas interrompidas, simuladas através do desligamento de nós intermediários. Em todos os testes realizados, o protocolo foi capaz de realizar a comunicação entre os nós da rede, mostrando sua eficiência.

## 5. CONCLUSÕES

Foi proposto um protocolo de roteamento adaptado às características e necessidades de uma rede de medidores AMR. O protocolo aproveita as características de não mobilidade e não necessidade de conectividade plena entre os nós para diminuir a complexidade algorítmica, a necessidade de memória e banda passante quando comparado a protocolos existentes para redes *mesh* como o AODV, DSR, por exemplo.



Os resultados de simulação e a implementação de uma rede piloto mostraram que o protocolo foi capaz de estabelecer rotas com o menor número de saltos entre os nós da rede, assim como restabelecer rotas interrompidas. O protocolo SGR mostra-se, portanto, adaptado ao uso em uma rede de medidores AMR tendo como grande vantagem com relação aos protocolos existentes sua baixa complexidade e pequena necessidade de recursos de memória e banda passante da rede.

## REFERÊNCIAS

CHALERMEK I., RC. GOVINDAN, D. E. **Direct diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks**. In In Proceedings of the Sixth Annual ACM International Conference on Mobile Computing and Networking, pages 56–67, 2010.

CHEN KE; QIAO CHENXI; ZUO TINGTAO; HU XIAOQUANG, **Research of automatic meter reading system based on broadband carrier in the power line**, 6th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), pg 2763 - 2767, 2011 .

DANIEL F. MACEDO, **Um Protocolo de Roteamento para Redes de Sensores Sem Fio Adaptável por Regras de Aplicação**, Dissertação de Mestrado, UFMG, Março, 2006.

DANIEL F. MACEDO, LUIZ H. A. CORREIA, ALDRI L. DOS SANTOS, ANTONIO A. F. LOUREIRO E JOSÉ M. NOGUEIRA, **A pro-active routing protocol for continuous data dissemination wireless sensor networks**. In 10th IEEE Symposium on Computer and Communications (ISCC), páginas 361\_366, Junho 2005.

DERBEL, FAOUZI, **Smart metering based on automated meter reading**, IEEE International Multi Conference on Systems, Signals and Devices, 2008.

EUROPEAN TECHNOLOGY PLATFORM SMARTGRIDS, **Strategic Deployment Document for Europe's Electricity Networks of the Future**, Final Report, 20 April 2010. Disponível em: <http://www.smartgrids.eu/> último acesso em 12/03/2012.

HASHMI, M.; HANNINEN, S.; MAKI, K., **Survey of smart grid concepts, architectures, and technological demonstrations worldwide**, Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Latin America), 2011, pp 1 - 7 , 2011

KIM, S., FONSECA, R., DUTTA, P., TAVAKOLI, A., CULLER, D., LEVIS, P., SHENKER, S., AND STOICA, I., **Flush: a reliable bulk transport protocol for multihop wireless networks**. In SenSys '07: Proceedings of the 5th international conference on Embedded networked sensor systems, pages 351–365, New York, NY, USA. ACM.

RUA YANG; ZHI-YUAN LI, **A stability routing protocols base on Reverse AODV**, International Conference on Computer Science and Network Technology (ICCSNT), 2011, pp 2419 – 2423, 2011.