

Smart Planner: Uma Ferramenta de Planejamento para Smart Grids

**Guilherme Rolim, Célio Vinicius Neves de Albuquerque,
Igor Monteiro Moraes**

¹Laboratório MídiaCom, PGC-TCC
Instituto de Computação - Universidade Federal Fluminense
Niterói, Rio de Janeiro, Brasil

grolim@id.uff.br, {celio,igor}@ic.uff.br

Abstract. *This work proposes a planning tool for Smart Grids that assists in the positioning of smart meters and data aggregation points (DAPs). In a Smart Grid infrastructure, smart meters are responsible for keeping track of user energy consumption. This data is periodically sent to one or more DAPs, typically via wireless communication. With the proposed tool the user is able to create, remove and move meters and DAPs through a map, verifying in real time which meters have been covered and the quality of the wireless links established. The quality of these links is based on the user's choices regarding the scenario, technology and transmission power. The tool also allows the use of RF-Mesh technology and is capable of automatically generating an initial planning of DAPs based on a well known optimization problem.*

Resumo. *Este trabalho propõe uma ferramenta de planejamento para redes elétricas inteligentes que auxilia no posicionamento de medidores inteligentes e agregadores. Em uma rede elétrica inteligente (Smart Grid), medidores inteligentes são responsáveis por coletar dados de consumo energético dos usuários. Esses dados são transmitidos periodicamente a um ou mais agregadores de dados, tipicamente via meio sem fio. Com a ferramenta proposta, o usuário é capaz de criar, remover e mover medidores e agregadores sobre um mapa, verificando em tempo real quais medidores foram cobertos e a qualidade dos enlaces gerados. A qualidade desses enlaces é baseada nas configurações de cenário, tecnologia e potência de transmissão. A ferramenta também permite o uso da tecnologia RF-Mesh e é capaz de gerar um planejamento inicial de agregadores, obtido através de um problema conhecido de otimização.*

1. Introdução

A principal característica das redes elétricas inteligentes (*Smart Grids*) é prover a comunicação de dados entre consumidores e produtores além da distribuição de energia elétrica em si. Esta capacidade de comunicação, ausente nas redes elétricas convencionais, permite que as empresas elétricas utilizem as informações geradas por consumidores durante a geração, transmissão e distribuição de energia. O requisito para que tais redes sejam implantadas é a instalação de agregadores de dados e medidores inteligentes, isto é, dispositivos eletrônicos dotados de interfaces de rede para que possam se comunicar. Os medidores e agregadores fazem parte da infraestrutura de medição avançada (*Advanced Metering Infrastructure - AMI*) [Wenpeng 2009], que é uma das principais propostas

de aplicação para *smart grids*. Nessa infraestrutura, cada residência contém um medidor inteligente responsável por armazenar informações periódicas do consumo de energia elétrica dessa residência. Os dados coletados por estes medidores são transmitidos a um agregador de dados, tipicamente via meio sem fio [Gungor et al. 2013], evitando gastos na criação de infraestrutura para redes cabeadas. Os agregadores, por sua vez, transmitem os dados coletados de uma vizinhança à concessionária de energia. Forma-se, assim, uma rede de comunicação de curta e média distância [Yan et al. 2013].

Planejar eficientemente as posições de agregadores de dados é um dos maiores desafios ao se projetar uma AMI. Como na AMI cada residência possui um medidor, verificar manualmente as posições mais adequadas para que agregadores os cubram é uma tarefa praticamente inviável, principalmente em vizinhanças com alta densidade demográfica. Além disso, deve-se levar em consideração a capacidade máxima de cada agregador e posicioná-los de forma que não sobrecarreguem. O planejamento manual para uma cidade inteira, por exemplo, envolveria analisar milhares de medidores.

Este trabalho propõe uma ferramenta de planejamento para redes elétricas inteligentes chamado *Smart Planner*¹ que permite aos usuários planejarem uma rede de comunicação de curta-distância para a AMI. Com o *Smart Planner*, o usuário pode criar, remover e movimentar agregadores e medidores em tempo real, verificando quais medidores estão cobertos e a qualidade dos enlaces entre os dispositivos. O *Smart Planner* é capaz de prover automaticamente uma solução inicial de posicionamento que contém o número mínimo de agregadores necessários para se cobrir o máximo de medidores possível em determinada região. Essa solução inicial pode ser utilizada como base para o planejamento do usuário, evitando a necessidade de criar e posicionar cada agregador manualmente e separadamente. Além disso, o *Smart Planner* permite ao usuário utilizar a técnica de *RF-Mesh* [Lichtensteiger et al. 2010], escolher a tecnologia de comunicação entre dispositivos (IEEE 802.11g e ZigBee), a potência de transmissão de seus rádios e o cenário de atuação (Urbano, Suburbano e Rural).

O restante deste trabalho está organizado como se segue. A Seção 2 explica a arquitetura do *Smart Planner*. A Seção 3 detalha as operações do sistema e como são processadas. A Seção 4 explica como o usuário interage com o sistema. A Seção 5 apresenta a demonstração planejada. A Seção 6 expõe e analisa resultados obtidos pelo planejamento automático. Por fim a Seção 7 conclui este trabalho.

2. Arquitetura do *Smart Planner*

O *Smart Planner* possui uma arquitetura cliente-servidor. A Figura 1 exhibe as funcionalidades do usuário na ferramenta e as operações realizadas no cliente e no servidor. As funcionalidades determinam o que o usuário é capaz de realizar na ferramenta através da interface gráfica executada no cliente. Tais funcionalidades consistem em inserir, mover e remover agregadores, medidores e postes; selecionar a tecnologia, potência e o cenário utilizados no planejamento; ativar ou desativar a tecnologia *RF-Mesh*; salvar e carregar arquivos de planejamento; visualizar as métricas da região planejada; e executar o planejamento automático. As 4 operações do *Smart Planner* englobam: representação de componentes gráficas; cálculo de enlaces; cálculo de métricas; e processamento do

¹Manual de uso: <http://www.midiacom.uff.br/grolim/SmartPlanner/ManualDeUso.pdf>
Endereço de acesso da ferramenta: <http://www.midiacom.uff.br/smartplanner/welcome/index>

planejamento automático. Sendo que, a primeira é executada no cliente enquanto as demais são processadas no servidor em que a aplicação está instalada. As funcionalidades e operações serão detalhadas nas próximas seções.

O *Smart Planner* é uma aplicação Web desenvolvida utilizando o *framework* RubyOnRails responsável pela disponibilização dos arquivos JavaScript, HTML e CSS aos *browsers* acessantes e pelos cálculos realizados na ferramenta. O código JavaScript, executado no cliente, baseia-se na API do Google Maps versão 3, que é utilizada para visualização do mapa e das componentes gráficas (agregadores, medidores, postes e enlaces). Os cálculos da ferramenta são realizadas em C++ e integradas ao RubyOnRails através da extensão Rice.

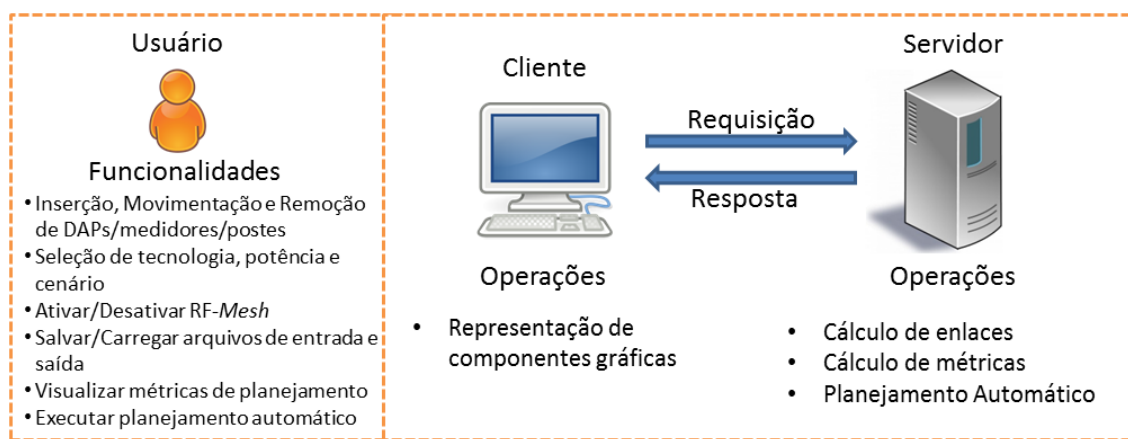


Figura 1. Funcionalidades e operações do *Smart Planner*.

3. Operações do *Smart Planner*

3.1. Representação de Componentes Gráficas

Há três objetos distintos no *Smart Planner*: medidores inteligentes, agregadores e postes elétricos. Os postes indicam possíveis posições para se instalar um agregador e são utilizados durante a fase de planejamento automático. Os enlaces de comunicação são representados por linhas entre os dispositivos. A cor da linha indica a qualidade deste enlace que é obtida a partir da sua taxa de entrega de pacotes. Essa taxa é calculada através de um modelo de propagação explicado na Seção 3.2. Considera-se que a taxa de entrega de pacotes deve ser superior a 90% para que o planejamento contenha apenas enlaces de boa qualidade sem comprometer o funcionamento da AMI. As cores dos enlaces variam gradualmente de amarelo a verde, sendo que quanto maior a intensidade da cor verde, maior a qualidade deste enlace. As linhas tracejadas indicam enlaces do RF-Mesh e seguem o mesmo critério de qualidade e coloração que um enlace normal. Quando o usuário termina de posicionar um agregador ou um medidor, o *Smart Planner* recalcula os enlaces da rede. Com isso, os usuários podem observar em tempo real quais enlaces são removidos e quais são criados. Os medidores inteligentes são representados por quadros pretos e os agregadores por círculos. Todos os objetos podem ser criados, removidos e movidos através da interface ou adicionados de um arquivo de entrada, evitando o posicionamento manual de cada objeto. Embora o desenho dos enlaces seja realizado via JavaScript no cliente, o servidor é o responsável por determinar quais enlaces devem existir assim como suas qualidades e localizações. O cliente envia uma requisição ao servidor

com as posições geográficas de medidores e agregadores já inseridos no mapa que serão processadas no servidor. A resposta do servidor é então lida e os enlaces desenhados.

3.2. Cálculo de Enlaces

No *Smart Planner*, a qualidade dos enlaces entre dispositivos indica a taxa de sucesso de entrega de pacotes (TSE). A TSE é computada de acordo com a tecnologia de comunicação, a potência de transmissão e o tipo de cenário em que atua. Mais especificamente, a TSE é obtida da taxa de erro de bits (TEB). A TEB está relacionada com a técnica de modulação utilizada em cada tecnologia. A TEB, então, é obtida da densidade espectral do ruído e da energia por bit. A densidade espectral do ruído pode ser estimada para cada tipo de cenário ou medida na região para melhor precisão. A energia por bit do sinal é calculada pelo nível de força do sinal no receptor. A potência do sinal no receptor é igual à potência de sinal do transmissor decrescida da atenuação do sinal no meio. Esta atenuação é calculada de acordo com a frequência de operação, altura das antenas, distância entre elas e tipo de cenário. O *Smart Planner* permite a escolha de três tipos de cenário - urbano, suburbano e rural - conforme recomendado pela norma [ITU-R SM.2028-1 2002]. Em cenários urbanos, o alcance dos enlaces tende a ser menor devido à grande quantidade de obstáculos que interferem na propagação do sinal através do meio sem fio e às interferências de outros dispositivos eletromagnéticos. Em cenários rurais ocorre exatamente o oposto e o alcance dos enlaces tende a ser maior. Em cenários suburbanos, o alcance dos enlaces é intermediário. Como tecnologia de rede, o usuário pode escolher dentre o IEEE 802.11g e o IEEE 802.15.4 (ZigBee). As escolhas de potência variam de 0 a 30 dBm, valores típicos de rádios comerciais.

Vários modelos de propagação foram estudados, como o Okumura-Hata, o Hata COST 231, o Walfisch-Ikegami e o Extended Hata SRD. Os dois primeiros modelos são aplicáveis apenas para distâncias superiores a 1 km, o terceiro modelo exige muitos parâmetros de difícil obtenção prática, como o valor médio de largura das ruas, separação de prédios, etc. Por esses motivos, o modelo escolhido foi o Extended Hata SRD [Extended Hata SRD], que além de funcionar para longas distâncias, é adequado para dispositivos de curto alcance (até 100 m).

Sempre que o usuário movimentar algum objeto sobre o mapa ou alterar alguma opção (cenário, tecnologia, potência e RF-*Mesh*), o cliente realiza uma requisição ao servidor enviando as opções selecionadas e as posições geográficas de medidores e agregadores. Através destas posições é possível obter a qualidade dos enlaces entre agregador e medidores utilizando o modelo de propagação escolhido. As informações dos enlaces que, por ventura, possuírem qualidade superior a 90% serão retornadas ao usuário para que possam ser desenhadas no mapa. A ferramenta *Smart Planner* também permite a utilização da tecnologia RF-*Mesh* que permite aos medidores inteligentes atuarem como nós intermediários na comunicação. Essa técnica é capaz de reduzir a quantidade de agregadores necessários para se planejar uma região e diminuir a quantidade de medidores inalcançáveis. As vantagens do RF-*Mesh* serão melhor discutidas na Seção 6.

3.3. Cálculo de Métricas

O *Smart Planner* é capaz de coletar métricas do planejamento e exibi-las ao usuário. As posições dos agregadores e medidores, assim como as configurações escolhidas pelo usuário, são enviadas ao servidor e processadas. O servidor retorna as seguintes

informações: quantidade de agregadores e medidores no planejamento; quantidade de medidores descobertos; qualidade média dos enlaces por número de saltos; quantidade de medidores por número de saltos; valor mínimo, médio e máximo de medidores por agregador; e valor mínimo, médio e máximo de redundância por medidor. Essas informações são apresentadas ao usuário através de uma janela sobre o mapa. As métricas citadas são baseadas nas qualidades dos enlaces que são estimadas pelo modelo de propagação explicado na Seção 3.2 de acordo com as configurações escolhidas pelo usuário. A qualidade dos enlaces de múltiplos saltos é calculada multiplicando-se a porcentagem da qualidade de todos os enlaces no caminho até alcançar o agregador.

3.4. Planejamento Automático

Dado um conjunto de postes e medidores, o *Smart Planner* é capaz de automaticamente calcular o número de agregadores necessários e o posicionamento de cada um deles para que todos os medidores possíveis estejam dentro da área de cobertura de pelo menos um agregador. O problema de cobertura de medidores é modelado como uma variação do Problema da Cobertura de Conjunto (*Set Covering Problem*) de custo único [Toregas et al. 1971]. O cliente envia uma requisição ao servidor contendo as configurações escolhidas e as posições de medidores e postes. O servidor é capaz de criar o problema de cobertura de conjunto determinando quais medidores cada poste é capaz de cobrir caso um agregador seja posicionado sobre este. Por fim, o servidor executa um *solver* para solucionar o problema criado e retorna a menor quantidade de postes necessários para que todos os medidores possíveis sejam cobertos. As posições dos postes selecionados são enviadas ao cliente que automaticamente posiciona agregadores sobre estes. O planejamento automático também considera a técnica de *RF-Mesh*. Detalhes do planejamento automático é apresentado em [Rolim et al. 2015].

4. Funcionalidades

A Figura 2 exibe o menu de opções da ferramenta separados em 3 regiões. Na região 1 o usuário é capaz de modificar as configurações do planejamento, alterando o cenário (urbano, suburbano e rural), tecnologia (ZigBee e 802.11g) e variando a potência de transmissão de 0 até 30 dBm. As opções da região 2 alteram o efeito do clique do *mouse* sobre o mapa, permitindo ao usuário criar e remover objetos. Por exemplo, caso o usuário deseje posicionar um novo agregador, basta clicar no ícone do agregador e o cursor do *mouse* será modificado de forma que, ao se clicar no mapa, um novo agregador será criado nesta posição. O ícone de borracha altera os valores do clique do mouse para remover os objetos quando o usuário realizar um clique sobre este. O primeiro ícone, identificado pelo ícone de um olho, é utilizado para facilitar a visualização do mapa, impedindo que o usuário crie ou remova objetos. Independente da ação do clique do mouse, o usuário pode movimentar qualquer objeto já criado clicando neste, arrastando-o até a nova posição desejada e soltando o clique. Os botões da região 3 realizam uma ação sobre o planejamento. Da esquerda para a direita, o primeiro botão executa o planejamento automático, posicionado o resultado automaticamente no mapa, o segundo botão habilita ou desabilita o uso de *RF-Mesh*, o terceiro opção abre uma janela que exibe as métricas conforme explicado na Seção 3.3, o quarto botão carrega um planejamento de um arquivo de entrada, o quinto botão salva o planejamento em um arquivo de saída.

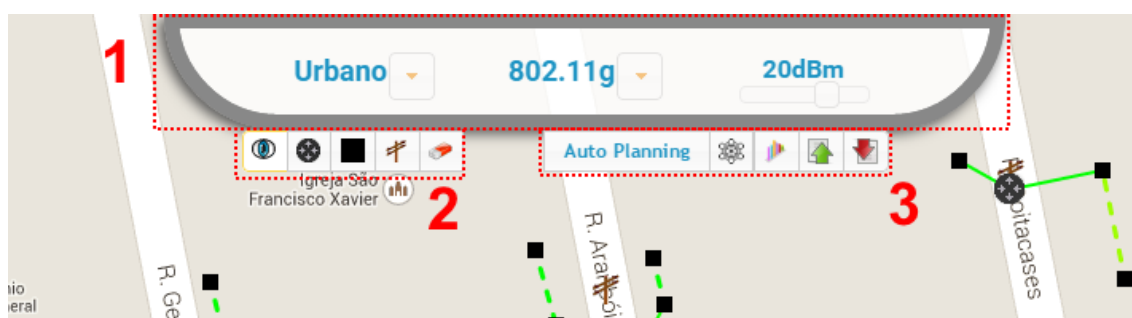


Figura 2. Menu de funcionalidades do *Smart Planner*.

5. Descrição da Demonstração Planejada

A demonstração da ferramenta para o salão de ferramentas é simples, sendo necessário apenas um computador pessoal ou portátil com acesso à Internet. Cada funcionalidade descrita na Seção 2 será executada separadamente. A ferramenta inicializará com o mapa vazio, sem que qualquer objeto esteja inserido. Em seguida, o mapa será ampliado de tal forma que se visualize de perto algum bairro da cidade de Vitória-ES. Sobre este bairro, medidores e postes serão posicionados de acordo com as posições das ruas e casas da região. As configurações da ferramenta serão definidas de acordo com as características da região. Por exemplo, para o centro da cidade de Vitória o cenário mais adequado é o urbano com dispositivos IEEE 802.11g transmitindo a 20 dBm na taxa de 6 Mb/s. Com as configurações já ajustadas, um agregador de dados será posicionado próximo a alguns medidores para que os enlaces e suas qualidades possam ser visualizados. A opção *RF-Mesh* será habilitada, evidenciando os enlaces de múltiplos saltos e seu impacto na cobertura. O planejamento automático será executado com e sem múltiplos saltos e sobre este resultado serão apresentadas as métricas conforme descrito na Seção 3.3. Por fim, o planejamento será salvo em um arquivo, a ferramenta retornará a sua configuração inicial para que o arquivo salvo seja carregado e novamente exibido.

6. Resultados

A funcionalidade de planejamento automático foi testada em duas regiões distintas. A primeira região corresponde ao alimentador Agrônômica, na cidade de Florianópolis-SC, contendo 29002 medidores inteligentes e 12140 postes elétricos. A posição dos postes foram obtidas pela CELESC. A segunda região foi gerada manualmente baseando-se nas posições de ruas e casas dos bairros de Icaraí e São Francisco na cidade de Niterói-RJ e contém 3666 medidores e 1030 postes. Medidores foram distribuídos ao longo das ruas espaçados uns dos outros de 15 a 25 m. A distância entre postes é de 30 a 50 m. O intuito dessa forma de distribuição é simular uma possível organização de medidores e postes para analisar como o planejamento se comporta. As posições utilizadas na segunda região não são reais. A Figura 3(a) mostra a primeira região e a Figura 3(b) a segunda. Os círculos representam os medidores inteligentes.

A Tabela 1 exhibe os resultados do planejamento automático para as regiões de Florianópolis e Niterói considerando um cenário urbano e dispositivos com tecnologia 802.11g transmitindo a 20 dBm na taxa de 6 Mb/s.

Sob estas configurações o alcance máximo de um enlace foi calculado como 19,5

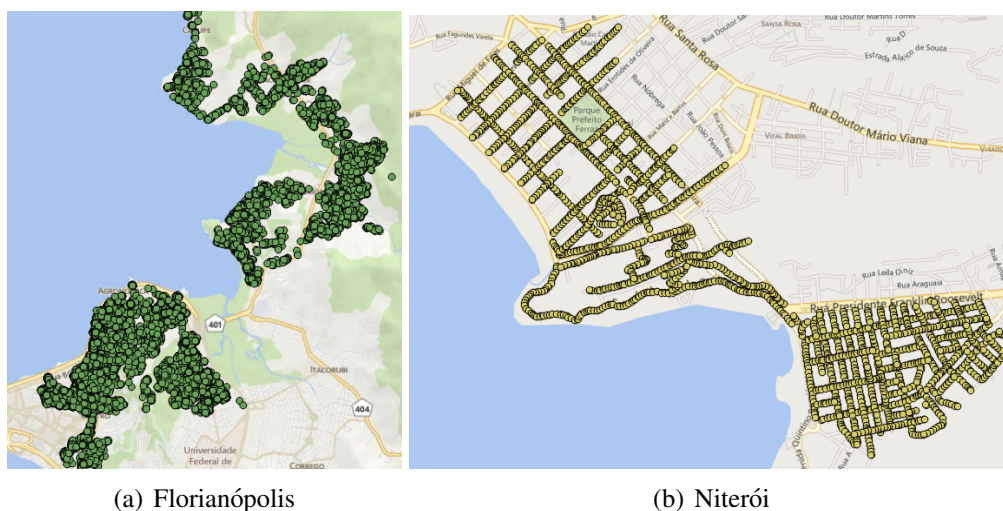


Figura 3. Disposição dos medidores para as regiões de Florianópolis e Niterói.

m. Os resultados mostram que o uso da técnica *RF-Mesh* é capaz de reduzir consideravelmente a quantidade de agregadores da solução. Para a região de Florianópolis a quantidade de agregadores reduziu de 2995 para 1607, indicando uma diminuição de 45,3%.

Tabela 1. Resultados para as instâncias de Florianópolis e Niterói com e sem múltiplos saltos.

Florianópolis 29002 Medidores e 12140 Postes				Niterói 3666 Medidores e 1030 Postes			
Sem RF-Mesh		Com RF-Mesh (4 saltos)		Sem RF-Mesh **		Com RF-Mesh *** (4 saltos)	
Nº de Agregadores	2995	Nº de Agregadores	1607	Nº de Agregadores	852	Nº de Agregadores	423
Nº Médio de Medidores por Agregador	9,68	Nº Médio de Medidores por Agregador	18,05	Nº Médio de Medidores por Agregador	4,30	Nº Médio de Medidores por Agregador	8,67
Redundância Média	1,30	Redundância Média	1,24	Redundância Média	1,13	Redundância Média	1,17
Taxa de sucesso de entrega média	(approx.) 99%	Medidores a 1 salto*	13207 (99,66%)	Taxa de sucesso de entrega média	(approx.) 99%	Medidores a 1 salto*	1835 (99,67%)
		Medidores a 2 saltos*	8236 (96,48%)			Medidores a 2 saltos*	914 (97,99%)
		Medidores a 3 saltos*	5534 (95,19%)			Medidores a 3 saltos*	612 (96,83%)
		Medidores a 4 saltos*	2025 (93,27%)			Medidores a 4 saltos*	285 (93,27%)

*: O valor entre parênteses indica a taxa de sucesso média dos enlaces à cada salto.

** : 119 medidores não puderam ser cobertos nesta configuração.

*** : 20 medidores não puderam ser cobertos nesta configuração.

Para a região de Niterói essa quantidade reduziu de 852 para 423 diminuindo 50,4%. Embora a tendência da qualidade dos enlaces à maior número de saltos seja diminuir, os resultados indicam que essa queda foi suave de forma que os enlaces a 4 saltos possuíram uma média superior a 93%. Esse alto valor pode ser explicado pelo fato do *Smart Planner* considerar apenas enlaces com qualidade superior a 90%, conforme explicado na Seção 3.1. Outro aspecto importante do uso de múltiplos saltos é reduzir a quantidade de medidores inalcançáveis. A Tabela 1 indica que na região de Niterói, 119 medidores não puderam ser cobertos (devido ao baixo alcance dos agregadores) sem o

uso do *RF-Mesh*. Porém, a quantidade de medidores inalcançáveis reduz para apenas 20 quando considerando o máximo de 4 saltos.

7. Conclusão

O sistema *Smart Planner* é uma solução eficiente para planejar a instalação de uma rede elétrica inteligente em uma vizinhança, evitando custos e imprecisões de planejamentos manuais. Este sistema permite ao usuário manipular a posição e tecnologia de agregadores e medidores e verificar a conectividade dos dispositivos em tempo real baseando-se em um modelo de propagação apropriado para cenários urbanos, suburbanos e rurais. Além disso, o *Smart Planner* oferece a opção de planejamento automático, que posiciona agregadores de forma a cobrir todo o conjunto possível de medidores. O sistema também suporta a tecnologia de comunicação de redes em malha (*RF-Mesh*). Testes preliminares mostraram que regiões consideravelmente grandes podem ser planejadas automaticamente no sistema e que a tecnologia *RF-Mesh* é capaz de reduzir significativamente o número de agregadores necessários.

Agradecimentos

Este trabalho é apoiado em parte por CNPq, CAPES, FAPERJ, TBE/ANEEL e CELESC/ANEEL.

Referências

- Extended Hata SRD. Extended Hata SRD for short range devices implemented in the SEAMCAT simulator. <http://tractool.seamcat.org/wiki/Manual/PropagationModels/ExtendedHata>. Acessado em fevereiro, 2015.
- Gungor, V. C., Sahin, D., Kocak, T., Ergut, S., Buccella, C., Cecati, C., e Hancke, G. P. (2013). A survey on smart grid potential applications and communication requirements. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 9(1):28–42.
- ITU-R SM.2028-1 (2002). REPORT ITU-R SM.2028-1: Monte Carlo simulation methodology for the use in sharing and compatibility studies between different radio services or systems. Relatório técnico, International Telecommunication Union, Genebra, Suíça.
- Lichtensteiger, B., Bjelajac, B., Muller, C., e Wietfeld, C. (2010). RF mesh systems for smart metering: system architecture and performance. Em *First IEEE International Conference on Smart Grid Communications, 2010*, pags. 379–384.
- Rolim, G., Albuquerque, C., e Moraes, I. (2015). Modelo e Solução para o Problema de Posicionamento de Agregadores em Redes Elétricas Inteligentes. Em *SBRC Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*. SBC.
- Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C., e Bergman, L. (1971). The location of emergency service facilities. *Operations Research*, 19(6):1363–1373.
- Wenpeng, L. (2009). Advanced metering infrastructure. *Southern Power System Technology*, 3(2):6–10.
- Yan, Y., Qian, Y., Sharif, H., e Tipper, D. (2013). A survey on smart grid communication infrastructures: Motivations, requirements and challenges. *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, 15(1):5–20.