

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE INFORMÁTICA
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

LUIS FELIPE RODRIGUES

**Uma Abordagem Para Monitoração, Análise e Controle de Medições de
Radiação Não Ionizante**

Monografia apresentada como requisito parcial para
a obtenção do grau de Bacharel em Ciência da
Computação.

Orientadora: Prof.^a Carla Maria Dal Sasso Freitas

Porto Alegre
2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitora: Profa. Jane Fraga Tutikian

Pró-Reitor de Graduação: Prof. Vladimir Pinheiro do Nascimento

Diretora do Instituto de Informática: Profa. Carla Maria Dal Sasso Freitas

Coordenador do Curso de Ciência da Computação: Prof. Sergio Cechin

Bibliotecária-Chefe do Instituto de Informática: Beatriz Regina Bastos Haro

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Nery (*in memorian*) e Maria pelo amor com que me criaram, à minha irmã Luisa pela influência intelectual, ao meu irmão Fernando pela influência cultural. Aos meus colegas de Anatel por importantes sugestões e suporte para obtenção de dados. Ao colega Naiche Barcelos, pela inestimável ajuda às minhas limitações durante a realização de diversos trabalhos nas disciplinas do curso. À professora Carla pela atenção na orientação deste trabalho e aos demais professores do Instituto de Informática pela dedicação e competência com que exercem a profissão. Aos amigos pelo apoio e momentos de descontração. E especialmente, à minha esposa Ângela pela parceria, paciência, amor e companheirismo nos bons e maus momentos, e ao meu filho Vinícius, pela alegria que nos proporciona e pela inspiração para o futuro.

RESUMO

O crescente uso de tecnologias de comunicações sem fio na sociedade moderna demanda por alta ocupação do espectro de radiofrequências, através da emissão de ondas eletromagnéticas. Para que seja possível a realização de comunicações sem fio de forma segura para sociedade com relação aos níveis de radiação emitidos, é necessário o controle de um imenso conjunto de informações associadas. Este trabalho, a partir da aplicação de técnicas de visualização dos dados de medidas do espectro radioelétrico, revisa o processo de monitoração, análise e controle dos níveis de radiação, apresenta a modelagem do processo atual em BPMN e propõe alterações. Foi implementada experimentalmente uma ferramenta para visualização das medidas e foi realizada avaliação com 16 usuários do setor de fiscalização da ANATEL. São apresentados e discutidos os resultados dessa avaliação.

Palavras-chave: Visualização de dados. Espectro radioelétrico. Radiação não ionizante. Exposição a Campos Eletromagnéticos. Medidas Elétricas. Modelagem de Processos. BPMN.

An Approach for Monitoring, Analysis and Control of Non-Ionizing Radiation Measurements

ABSTRACT

The increasing use of wireless communications technology in modern society demands for high radio spectrum occupancy through the electromagnetic wave emissions. For maintaining safe wireless communications with respect to radiation levels, one needs to monitor a large set of data. This work, by introducing the use of data visualization techniques to display non-ionizing radiation measurements, analyze the current process of monitoring, analysing and controlling the radiation levels, presents its modeling in BPMN, and proposes changes in the process. The proposed process is also modeled in BPMN. We also report the results of a user evaluation conducted with 16 analysts from ANATEL.

Keywords: Data visualization. Radio spectrum. Non-ionizing radiation. Electromagnetic Fields. Electrical measurements. Process Modeling. BPMN.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Espectro Eletromagnético	12
Figura 2.2. Espectrograma típico de Frequência <i>versus</i> Nível na faixa de Radiodifusão em FM	15
Figura 2.3. Espectrograma em cascata e Espectrograma 3D.....	15
Figura 2.4. Direção de uma emissão	16
Figura 2.5. Localização de uma emissão.....	17
Figura 3.1. Limites de exposição à RNI.....	19
Figura 3.2. Ferramenta da Anatel para dados de RNI	20
Figura 3.3. Detalhe da Ferramenta da Anatel para RNI.....	21
Figura 3.4. Nova versão do Mapa da Anatel para RNI	21
Figura 4.1. Visualização com escala automática.....	26
Figura 4.2. Visualização com escala ajustada aos limites de exposição	26
Figura 4.3. Visualização com detalhamento da medida em um ponto, sob demanda do usuário.	28
Figura 4.4. Comparação entre Níveis Médios e de Pico	29
Figura 4.5. Ponto de interesse onde devem ser realizadas análises mais detalhadas	30
Figura 4.6. Ampliação da região de interesse	30
Figura 4.7. Detalhes da medida.....	31
Figura 4.8. Filtro no Campo Elétrico Médio.....	32
Figura 4.9. Filtro na Data e Hora da Medida.....	32
Figura 4.10. Visualização Final com Filtros Disponíveis e Histograma	33
Figura 5.1. Seção introdução.....	34
Figura 5.2. Seção Perfil	35
Figura 5.3. Seção Análise das Medidas (parte 1)	36
Figura 5.4. Seção Análise das Medidas (parte 2).....	37
Figura 5.5. Seção Avaliação da Ferramenta (parte 1)	38
Figura 5.6. Seção Avaliação da Ferramenta (parte 2)	39
Figura 5.7. Escolaridade.....	40
Figura 5.8. Familiaridade com Sistemas	40
Figura 5.9. Conhecimento da Área: 1= pouco conhecimento; 5=muito conhecimento.	40
Figura 5.10. Percepção Geral: <i>As maiores medidas de nível médio situam-se no quadrante inferior esquerdo do mapa ?</i>	41
Figura 5.11. Facilidade de Percepção Geral.....	41
Figura 5.12. Identificação de Nível: A maior medida de nível médio é inferior a 8 V/m?.....	42
Figura 5.13. Facilidade de Identificação de Nível.....	42
Figura 5.14. Distinção de Tipos e Uso de Filtros: O local com a maior medida de nível médio é também o local com a maior medida de nível máximo?.....	42
Figura 5.15. Facilidade de Distinção de Tipos.....	43
Figura 5.16. Interpretação do Histograma: Conforme o histograma, a maioria das medidas estão abaixo de 20% do limite estabelecido?.....	43
Figura 5.17. Facilidade de interpretação do histograma	43
Figura 5.18. Concordância com Uso de Cores.....	44
Figura 5.19. Concordância com Uso de Tamanhos.....	45
Figura 5.20. Concordância com Entendimento.....	45
Figura 5.21. Concordância com Eficácia da Representação Geral	45
Figura 5.22. Tempos de Resposta	46
Figura 5.23. Comentários	47
Figura 6.1. Processo modelado em BPMN	50
Figura 6.2. Sub-processo Executar Fiscalização	50
Figura 6.3. Processo modificado modelado em BPMN	52
Figura 6.4. Sub-processo “Executar Mapeamento”	52
Figura 6.5. Estações SMP no raio de 1 Km	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Limites para exposição a campos eletromagnéticos.....	19
Tabela 4.1 - Conjunto de dados de Medidas	25
Tabela 6.1 - Tempo estimado para as principais atividades do sub-processo Executar Fiscalização ...	51
Tabela 6.2 - Tempo estimado para as principais atividades do sub processo Executar Mapeamento ..	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
BPMN	Business Process Model and Notation
ICNIRP	International Commission on Non Ionizing Radiation Protection
OMG	Object Management Group
OMS	Organização Mundial da Saúde
RNI	Radiação Não Ionizante
UIT	União Internacional de Telecomunicações
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 O ESPECTRO DE RADIOFREQUÊNCIAS	12
2.1 Conceitos sobre espectro	12
2.1.1 Espectro Eletromagnético.....	12
2.1.2 Espectro de Radiofrequências	13
2.2 Visualização do Espectro	13
2.2.1 Visualização de dados	13
2.2.2 Visualizações de monitoramento do espectro	14
2.2.3 Localização de emissões.....	15
3 RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA NÃO IONIZANTE	18
3.1 Definição.....	18
3.2 Estudos sobre efeitos à saúde.....	18
3.3 Limites de exposição.....	19
3.4 Ferramentas disponíveis para visualização.....	20
4 VISUALIZAÇÃO DE MEDIDAS DE RADIAÇÃO NÃO IONIZANTE	23
4.1 Objetivos da visualização.....	23
4.2 Técnicas de visualização.....	24
4.3 Caracterização dos dados	24
4.4 Visualização das medidas de RNI	25
4.4.1 Mapeamento dos Dados e Ajustes de Escala.....	25
4.4.2 Análise de Atributos	27
4.4.3 Adição de Filtros e Histograma	31
5 RESULTADOS OBTIDOS.....	34
5.1 Metodologia de avaliação.....	34
5.1.1 Conteúdo do questionário.....	34
5.2 Resultados	39
5.2.1 Resultados da seção perfil	39
5.2.2 Resultados da seção de análise das medidas	41
5.2.3 Resultados da avaliação da ferramenta.....	44
5.3 Avaliação dos resultados.....	46
6 AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE AFERIÇÃO DE RNI	48
6.1 Modelagem BPMN	48
6.2 O processo atual.....	48
6.2.1 Estimativas de tempo.....	51
6.3 Processo proposto	51
6.3.1 Comparação de estimativas de tempo	53
7 CONCLUSÕES.....	56
REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica da sociedade atual fundamenta-se, entre outros pilares, em um crescimento vertiginoso da troca de informações, especialmente por meio da comunicação móvel. O crescente uso de tecnologias de comunicações sem fio demanda por alta ocupação do espectro de radiofrequências, o que significa emissão de ondas eletromagnéticas. Para que seja possível a realização de comunicações móveis livres de interferências e de forma segura para a sociedade com relação aos níveis de radiação emitidos, é necessário o controle de um grande conjunto de informações associadas.

Para termos uma dimensão da quantidade de equipamentos emissores de radiofrequência em uso no país, podemos citar que os dados mais recentes da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) indicam um número superior a 250 milhões de linhas de celular habilitadas no Brasil, o que significa uma densidade superior a um terminal por habitante. Este número considera apenas dispositivos móveis de telefonia celular em potencial, sem considerar as estações das operadoras do serviço. Tampouco considera estações de outros serviços ou equipamentos de radiação restrita (livres de licenciamento), tais como modems wi-fi e dispositivos similares. Uma vez que o uso de radiofrequência tornou-se massivo apenas nas últimas décadas, existe uma preocupação sobre seus efeitos futuros à saúde.

Neste sentido, um grande número de estudos científicos têm sido realizados nas últimas décadas sobre possíveis efeitos na saúde, a longo prazo, da exposição humana a campos eletromagnéticos. Ainda que até hoje não tenha sido encontrada nenhuma comprovação neste sentido, a preocupação é justificável. O controle à exposição das pessoas aos níveis de radiação eletromagnética é um exemplo de como os avanços da ciência requerem um monitoramento constante sobre seus efeitos futuros. Essa ideia é bastante difundida, tal como pode ser confirmado pela citação de Carl Sagan: a ciência “tem uma responsabilidade profunda, e quanto mais poderosos os seus produtos, maior a sua responsabilidade”¹.

Neste contexto, reveste-se de especial importância o processo de monitoramento, análise e controle dos níveis de radiação emitidos pelos mais diversos tipos de estações transmissoras de radiofrequência. O tipo de emissão destas estações é classificado como

¹ SAGAN, Carl. O Mundo Assombrado Pelos Demônios: a ciência vista como uma vela no escuro. Editora Companhia das Letras, 2006.

Radiação Não Ionizante (RNI), devido ao fato de não apresentar energia suficiente para ionizar a matéria. No Brasil, o órgão responsável por normatizar e fiscalizar os níveis de RNI é a Anatel.

Neste trabalho, analisaremos os procedimentos e ferramentas utilizados pela agência para aferição dos níveis de Radiação Não Ionizante, buscando identificar melhorias que podem ser adotadas a partir de técnicas computacionais, em especial da área de visualização de dados. As melhorias fundamentam-se, principalmente, no aprimoramento da apresentação dos resultados e numa proposta de mudança de paradigma do processo de aferição de níveis, atualmente baseado em fiscalização de estações, para um enfoque baseado em mapeamento do espectro.

Para a discussão dos temas propostos, este trabalho está estruturado da forma descrita a seguir. Nesta primeira seção, são apresentados aspectos introdutórios para contextualização geral do trabalho. A seção 2 apresenta aspectos gerais relativos ao espectro radioelétrico, incluindo as formas de visualização mais frequentemente utilizadas para sua monitoração e controle. A seção seguinte abordará questões relativas à Radiação Não Ionizante, a normatização aplicável e limites de exposição. A seção 4 trata da visualização espacial de dados de medidas de Radiação Não Ionizante. Os resultados obtidos, decorrentes de avaliação de percepção de usuários sobre a visualização serão apresentados na seção subsequente. A descrição e modelagem do processo de aferição de níveis realizado pela Anatel é apresentada na seção 6, que apresenta também uma proposta de remodelagem. Por último, na seção 7, serão apresentadas e discutidas as conclusões decorrentes dos resultados obtidos e as possibilidades de estudos futuros.

2 O ESPECTRO DE RADIOFREQUÊNCIAS

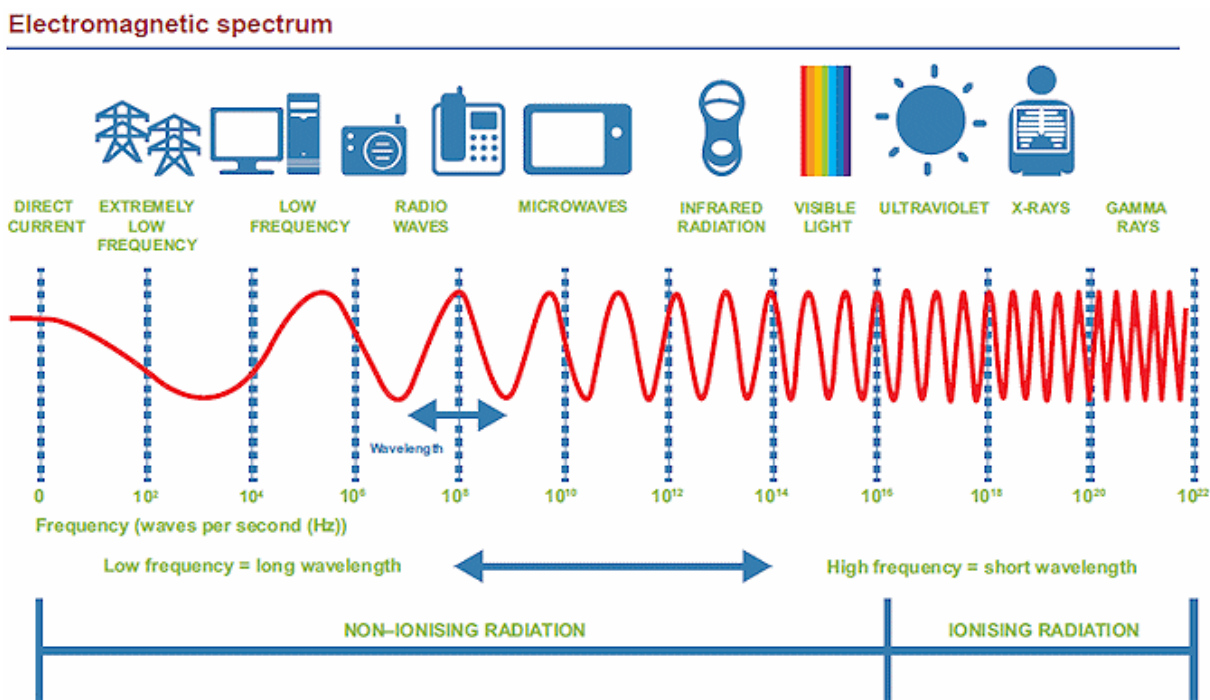
2.1 Conceitos sobre espectro

2.1.1 Espectro Eletromagnético

O espectro eletromagnético é o intervalo completo de todas as possíveis frequências de radiação eletromagnética. Ele se estende desde as frequências mais baixas até a radiação gama. De acordo com a energia associada, o tipo de radiação de determinada faixa do espectro é classificado como ionizante ou não ionizante. Radiações ionizantes apresentam a possibilidade de ionizar a matéria, ou seja, separar elétrons de átomos e moléculas, o que é possível apenas nas faixas mais altas do espectro. Por outro lado, as radiações nas faixas de frequência mais baixas não apresentam essa característica e são classificadas como não ionizantes.

As faixas de frequência são apresentadas na figura 2.1, com exemplos básicos de utilização do espectro e indicação dos tipos de radiações.

Figura 2.1. Espectro Eletromagnético



Fonte: <http://www.ispreview.co.uk/>

2.1.2 Espectro de Radiofrequências

O espectro de radiofrequências, por sua vez, é uma subfaixa do espectro eletromagnético, correspondente às frequências abaixo de 3000 GHz (situada na faixa de radiações não ionizantes). É definido no Regulamento de Uso do Espectro de Radiofrequências (Resolução Anatel nº 671, de 03 de novembro de 2016) como um bem público, de fruição limitada, cujas ondas eletromagnéticas se propagam no espaço e que é, do ponto de vista do conhecimento tecnológico atual, passível de uso por sistemas de radiocomunicação. Conforme prevê a Lei Geral das Telecomunicações (Lei nº 9.472, de 16 de julho de 1997), o espectro de radiofrequências no Brasil é administrado pela Anatel.

Na administração do espectro de radiofrequências são observadas as atribuições das faixas, definidas em tratados e acordos internacionais, aprovados na União Internacional de Telecomunicações (UIT), e, anualmente, é emitido o Plano de Atribuição, Destinação e Distribuição de Faixas de Frequências no Brasil, o qual contém o detalhamento do uso das faixas de radiofrequências associadas aos diversos serviços e atividades de telecomunicações.

2.2 Visualização do Espectro

O controle do espectro radioelétrico requer a análise de um grande volume de dados associados, como, por exemplo: informações sobre a localização de estações; tipo de emissão de um transmissor; medidas de intensidade de campo; medidas de variação de frequência; medidas de largura de banda medidas de modulação; medidas de níveis de radiação não ionizante, entre outros. Em geral, a análise requer o cruzamento de dados de diferentes domínios, como, por exemplo, a verificação do nível de intensidade de campo de uma frequência, com uma determinada largura de banda, em um ponto específico do espaço. Ou, então, o cruzamento de informações sobre as direções de uma determinada emissão a partir de diferentes pontos visando a sua localização.

2.2.1 Visualização de dados

Neste contexto de grandes volumes de dados, é válido considerar técnicas de visualização, uma área de aplicação de computação gráfica. O termo “visualização”, segundo

Ware (2012), remete à representação gráfica de dados ou conceitos. As imagens são usadas para ajudar as pessoas a compreender tanto dados espaciais como não espaciais, tanto antes de uma computação envolvendo esses dados como após, para exibir resultados de algum processamento.

Considerando-se a natureza do espectro de radiofrequências verifica-se, portanto, que técnicas de visualização de dados apresentam-se como ferramentas de grande utilidade para a análise das informações.

2.2.2 Visualizações de monitoramento do espectro

Por natureza, o espectro eletromagnético é contínuo, bem como o sinal de radiofrequência durante sua emissão. Desta maneira, para a maior parte das aplicações, é necessária uma amostragem discretizada do sinal para sua avaliação. Assim sendo, no âmbito da área de visualização de dados, trata-se de um conjunto de medidas físicas quantitativas, escalares, multidimensionais e de natureza contínuo-discretizada, conforme classificação em Munzner (2014).

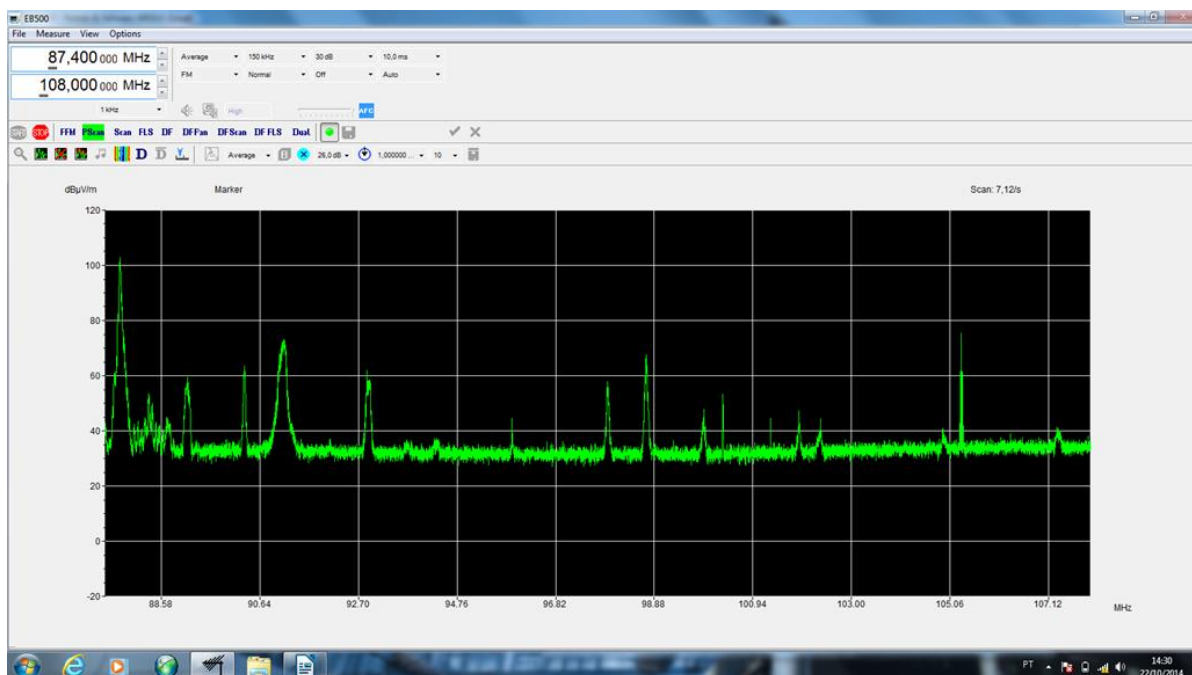
Os equipamentos mais largamente utilizados nessa área são os analisadores de espectro e similares. Eles realizam a aquisição de uma determinada faixa de frequência em banda larga e efetuam o processamento e amostragem do sinal, que é apresentado graficamente em eixos de frequência e nível com uma determinada resolução de banda.

A visualização de dados do espectro radioelétrico pode ser feita de diversas formas, de acordo com a finalidade da análise. A forma mais comum é através de um gráfico “frequência x nível”, no domínio frequência. A figura 2.2 apresenta um exemplo de espectrograma na faixa de FM, entre 87,4 MHz e 108 MHz.

Em determinados casos, pode ser interessante também verificar o comportamento do sinal no tempo. Para isso, pode-se utilizar eixos “frequência x tempo” e representação de nível do sinal através de uma tabela de cores, ou um espectrograma 3D. A figura 2.3 apresenta as duas possibilidades de visualização, para uma mesma portadora.

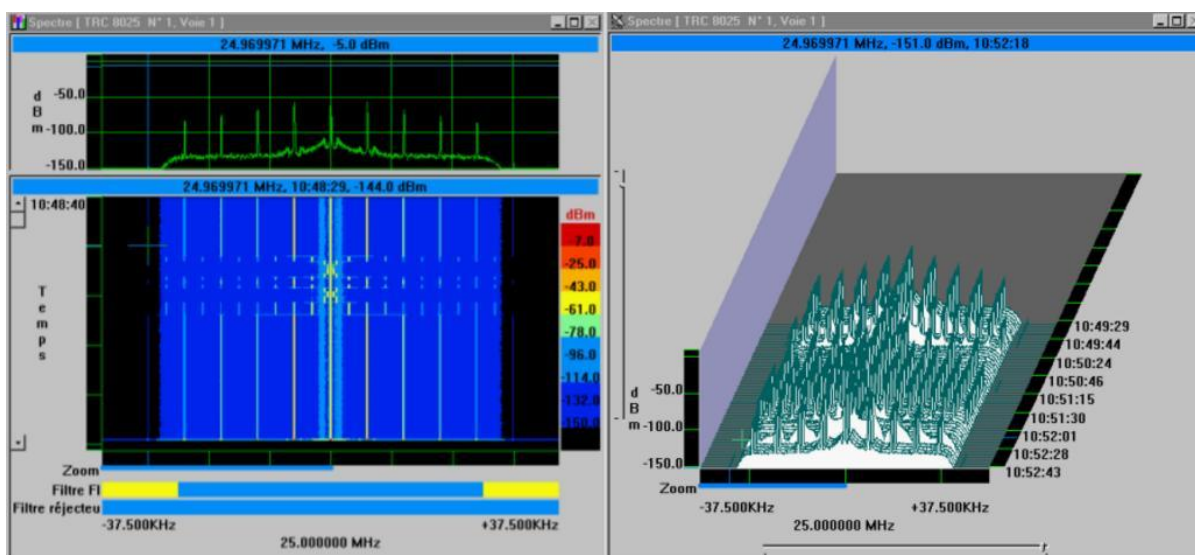
No âmbito das aplicações de monitoração do espectro, diversas outras análises e formas de visualização do espectro são possíveis, como a verificação do tempo ou o percentual de ocupação de canais destinados a serviços de transmissão não contínua. Neste caso, a parte superior apresenta eixos “frequência (canal) x percentual de ocupação” e a parte inferior “frequência (canal) x tempo”, com uso de cores para os níveis. Não abordaremos estas e outras análises por fugirem ao escopo deste trabalho.

Figura 2.2. Espectrograma típico de Frequência *versus* Nível na faixa de Radiodifusão em FM



Fonte: ANATEL

Figura 2.3. Espectrograma em cascata e Espectrograma 3D



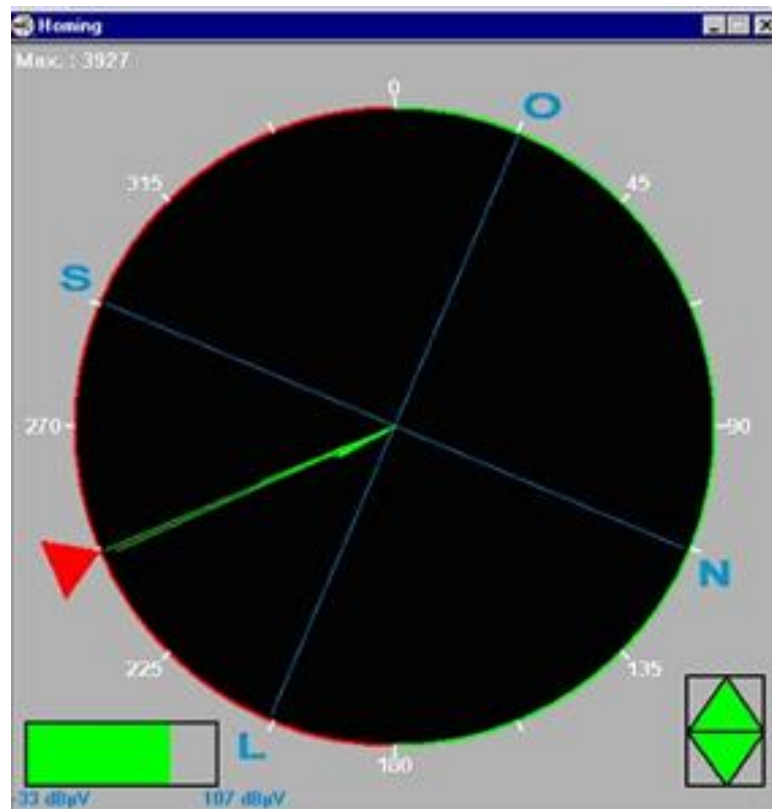
Fonte: ANATEL

2.2.3 Localização de emissões

Outra área de aplicação muito frequente, associada ao controle do espectro, consiste na localização de emissões desconhecidas. Através de um processo denominado interferometria,

determinados sistemas podem apresentar a direção da emissão do sinal inspecionado diretamente na tela, possibilitando sua localização. Nesse caso, utiliza-se uma representação polar em que os ângulos são dispostos em uma circunferência e o resultado da análise indica a direção do sinal, conforme exemplo da figura 2.4.

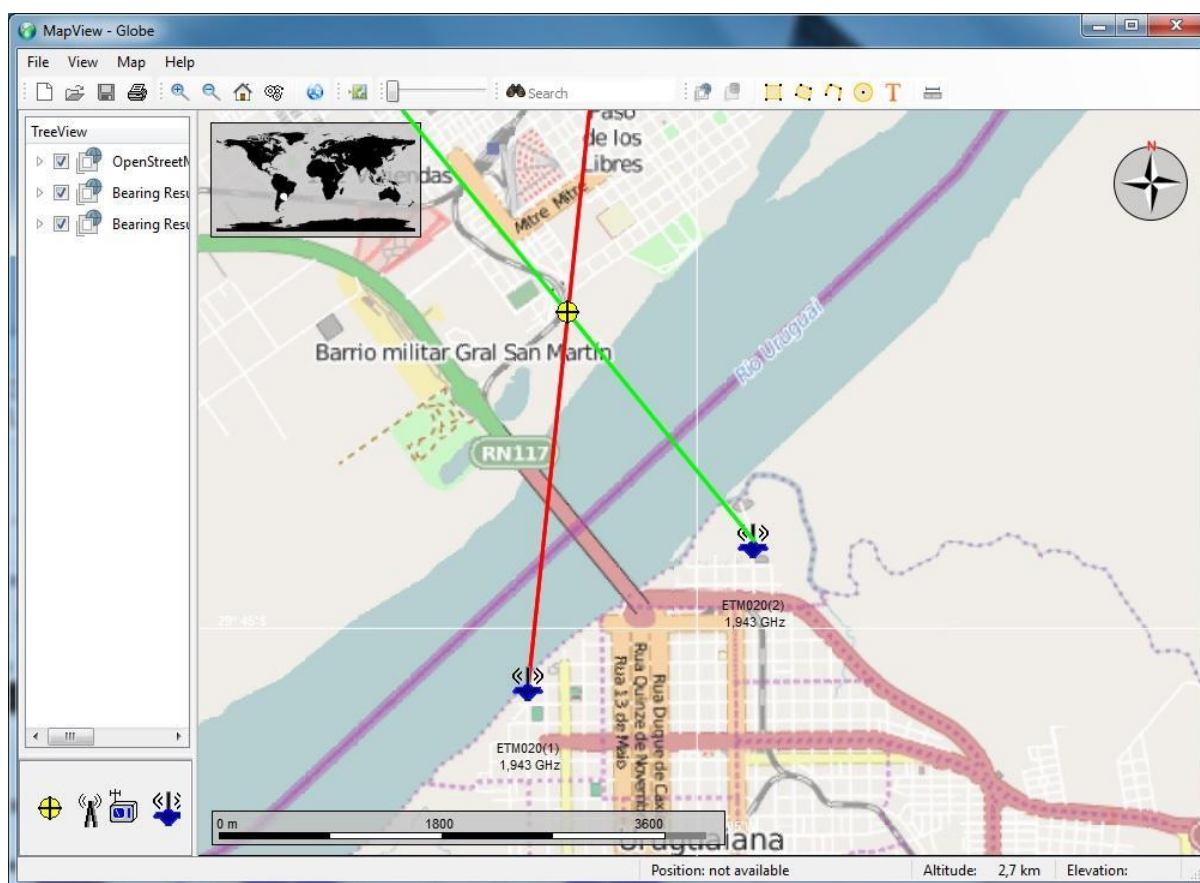
Figura 2.4. Direção de uma emissão



Fonte: ANATEL

O cruzamento de dados sobre a direção de sinais em um contexto cartográfico permite a localização de emissões através de um processo de triangulação. Dessa forma, é possível identificar a localização de uma emissão diretamente no mapa. Na figura 2.5 são apresentados como exemplo dois azimutes de localização, combinados no mapa para fornecer a localização da emissão.

Figura 2.5. Localização de uma emissão



Fonte: ANATEL

3 RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA NÃO IONIZANTE

3.1 Definição

O termo Radiação Não Ionizante (RNI) inclui todas as radiações do espectro eletromagnético que não apresentam energia suficiente para ionizar a matéria. Caracterizam-se por apresentarem energia, por fóton, inferior a cerca de 12 eV (doze elétron-volt), comprimentos de onda maiores do que 100 (cem) nanômetros e frequências inferiores a 3×10^{15} Hz.

A avaliação da exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos de radiofrequências é regulamentada pelo Regulamento sobre Limitação da Exposição a Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos na Faixa de Radiofrequências entre 9 kHz e 300 GHz, aprovado pela Resolução Anatel nº 303, de 2 de julho de 2002. No mesmo sentido, foi publicada a Lei nº 11.934, de 5 de maio de 2009. Tanto o regulamento quanto as leis seguem as recomendações da Organização Mundial de Saúde (OMS).

3.2 Estudos sobre efeitos à saúde

A OMS mantém um amplo banco de dados de pesquisas científicas sobre os efeitos da energia eletromagnética (EEM), o que inclui estudos sobre os efeitos da radiofrequência sobre a saúde. O banco de dados da OMS, disponível no site da Organização, mostra que há mais de 1.900 artigos científicos publicados sobre os efeitos biológicos e à saúde dos campos eletromagnéticos, e mais de 630 estudos sobre radiofrequência especificamente associada às redes de telefonia móvel².

Com relação à exposição a campos eletromagnéticos, a posição da OMS é de que já foram realizadas inúmeras pesquisas sobre os possíveis efeitos à saúde da exposição a várias partes do espectro de frequência, incluindo telefones celulares e estações rádio base. Todas as pesquisas conduzidas até agora indicam que as exposições abaixo dos limites recomendados pelas diretrizes da ICNIRP (sigla em inglês da Comissão Internacional de Proteção Contra Radiações Não Ionizantes - International Commission on Non Ionizing Radiation Protection), abrangendo toda a frequência de 0 a 300 GHz, não produzem qualquer efeito adverso à saúde.

² <http://www.emfexplained.info/por/?ID=25140>

Porém, existem lacunas no conhecimento que ainda precisam ser preenchidas, para uma avaliação melhor sobre os riscos à saúde³.

3.3 Limites de exposição

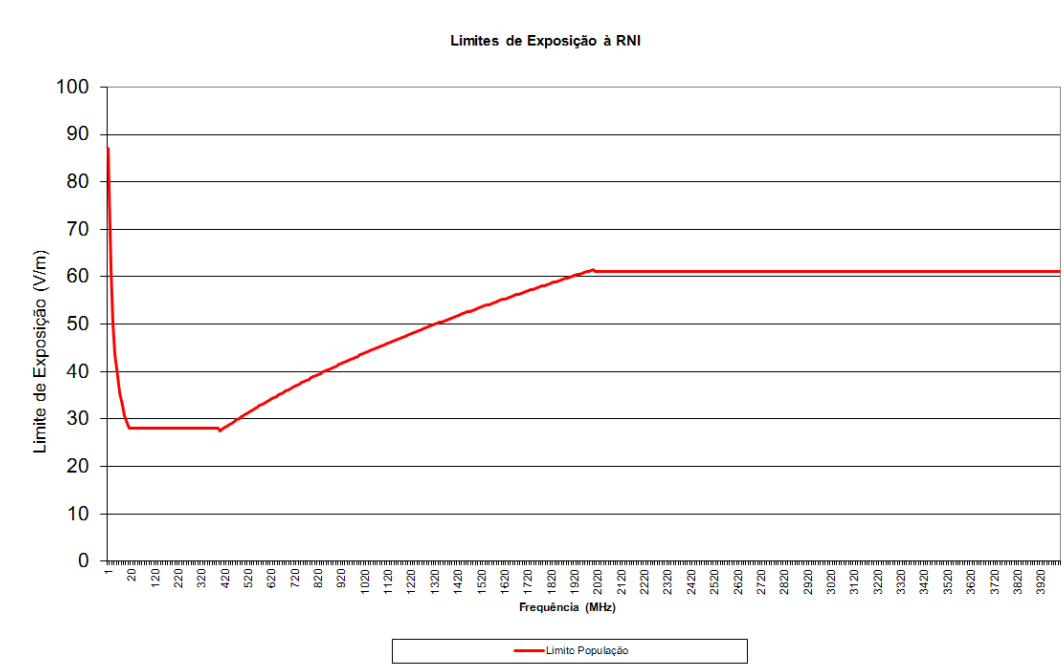
A tabela 3.1 apresenta os limites para exposição da população em geral a campos eletromagnéticos de radiofrequência na faixa de radiofrequências entre 9 kHz e 300 GHz. Na tabela, f é o valor da radiofrequência cuja unidade deve ser a mesma indicada na coluna da faixa de radiofrequências.

Tabela 3.1 – Limites para exposição a campos eletromagnéticos

Faixa de Radiofrequências	Intensidade de Campo, E (V/m)	Intensidade de Campo, H (A/m)	Densidade de potência da onda plana equivalente, S_{eq} (W / m ²)
9 kHz a 150 kHz	87	5	-
0,15 MHz a 1 MHz	87	$0,73/f$	-
1 MHz a 10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0,73/f$	-
10 MHz a 400 MHz	28	0,073	2
400 MHz a 2000 MHz	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037/f^{1/2}$	$f/200$
2 GHz a 300 GHz	61	0,16	10

Fonte: Resolução Anatel 303/2002

Figura 3.1. Limites de exposição à RNI



Fonte: o Autor, com base na Resolução Anatel 303/2002

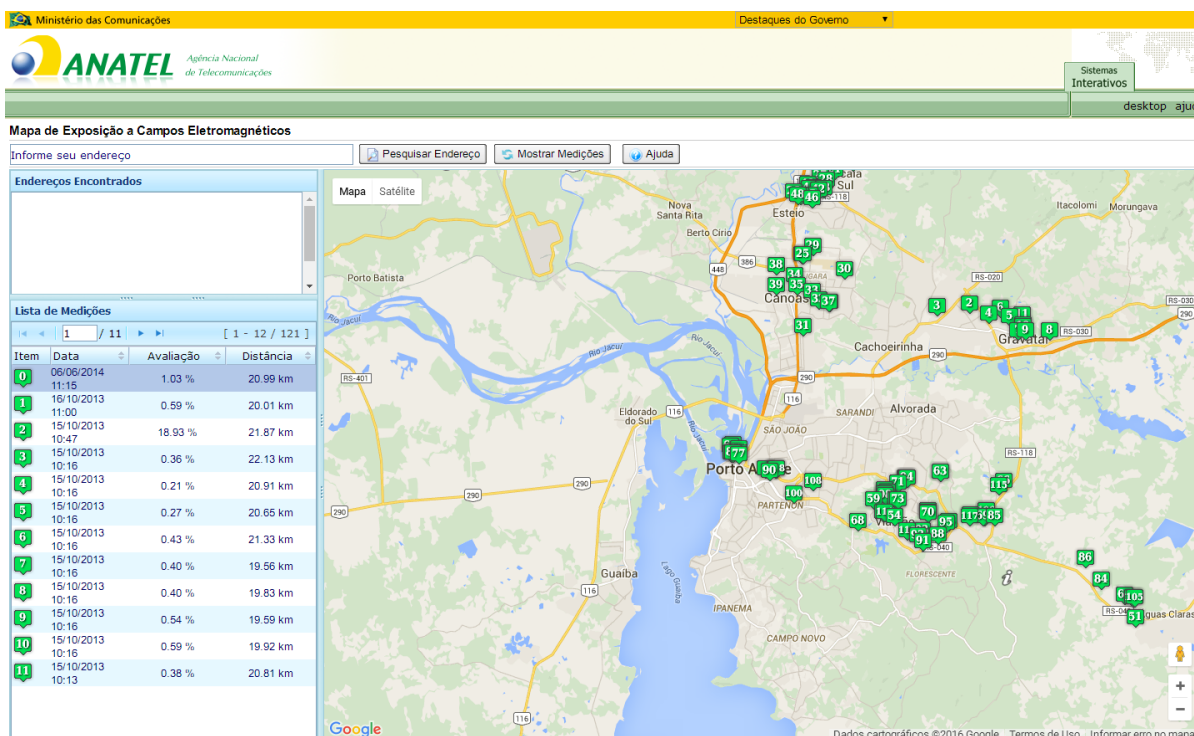
³ <http://www.who.int/peh-emf/research/en/>

A variação dos limites de intensidade de campo conforme a frequência pode ser melhor visualizada através da plotagem dos valores da tabela em um gráfico de frequência versus limite de exposição, conforme a figura 3.1.

3.4 Ferramentas disponíveis para visualização

A Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) disponibiliza uma ferramenta para visualização de informações sobre as medidas de RNI no espaço, no site <http://sistemas.anatel.gov.br/sigwebmaprni/index.zul>, conforme figura 3.2.

Figura 3.2. Ferramenta da Anatel para dados de RNI

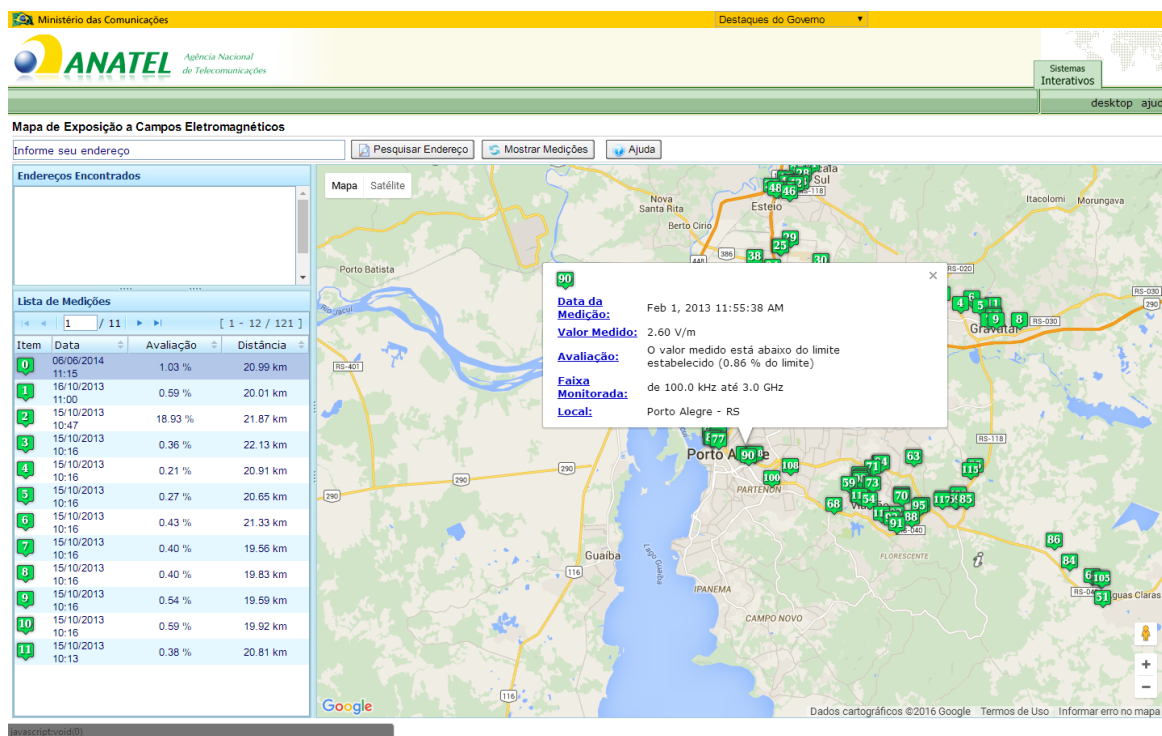


Fonte: ANATEL

No entanto, nessa ferramenta, não há qualquer representação visual sobre os níveis das medidas no mapa. As informações sobre as medidas são apresentadas numa tabela no lado esquerdo e a informação de uma medida é apresentada diretamente no ponto, isoladamente, após uma interação do usuário, conforme a figura 3.3. Dessa forma, a ferramenta não apresenta uma visualização ou um mapeamento geral dos dados que permita uma análise geral sobre o conjunto das medições. O mapa apresenta todos os pontos com medidas através de

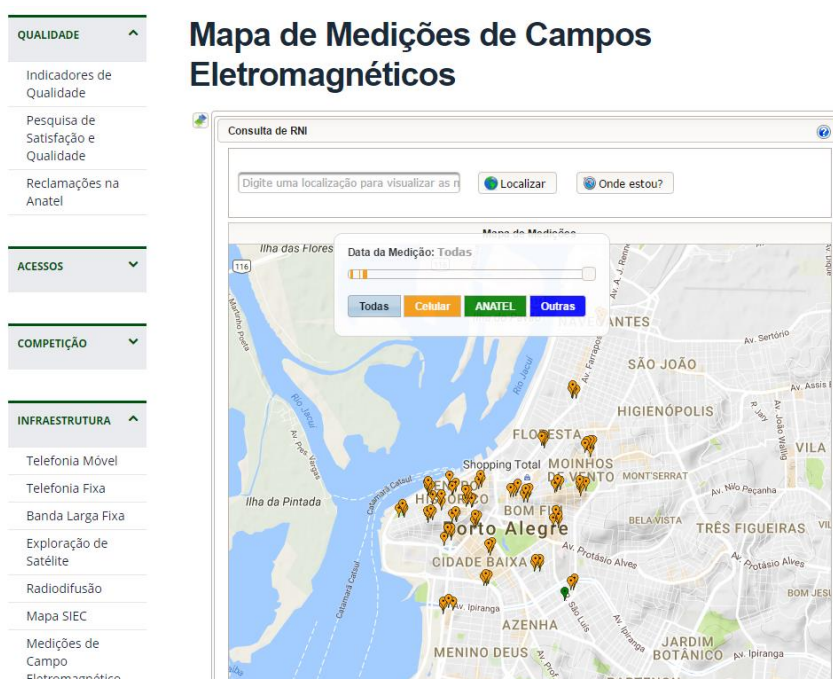
bandeiras de uma única cor contendo o número de um rótulo aleatório associado às medidas, mas que não agregam informações à visualização.

Figura 3.3. Detalhe da Ferramenta da Anatel para RNI



Fonte: ANATEL

Figura 3.4. Nova versão do Mapa da Anatel para RNI



Fonte: ANATEL

Recentemente, a Agência lançou uma nova versão do mapa, disponível em http://www.anatel.gov.br/dados/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=534, conforme a figura 3.4. Entretanto, nenhuma nova funcionalidade para visualização dos dados foi incorporada à nova versão, que apresenta as mesmas características do mapa anterior.

Analisando esse cenário, é possível verificar que o uso de técnicas de visualização de dados pode agregar valor à ferramenta para análise dos dados. Por essa razão trataremos sobre sua aplicação na seção seguinte.

4 VISUALIZAÇÃO DE MEDIDAS DE RADIAÇÃO NÃO IONIZANTE

4.1 Objetivos da visualização

Observando os exemplos de visualização apresentados nas seções anteriores, percebemos a existência de variadas formas de visualização de dados na área de monitoração do espectro. Existe uma ampla variedade de equipamentos e visualizações disponíveis para análises detalhadas da situação espectral em determinado local. No entanto, quase todas aplicações analisadas destinam-se a verificações pontuais, focadas em determinadas frequências ou faixas de frequências. São bastante escassas aplicações que fornecem visualizações mais amplas que tratem a ocupação geral do espectro no espaço.

O presente trabalho busca suprir essa lacuna, com o objetivo de oferecer um mapeamento mais amplo do espectro, através da análise de possibilidades de visualização mais abrangentes da situação espectral no espaço, como a plotagem das informações de radiofrequência em um mapa de duas dimensões.

Devido à natureza das emissões do espectro radioelétrico, uma representação geral detalhada, discriminando todos os níveis de frequência sobre um mapa, é um problema de difícil implementação, pois implicaria em um volume muito grande de informações. Isto se deve ao fato de que cada faixa de frequência discretizada poderia ser interpretada como uma dimensão a qual seria atribuído um valor de nível. Assim, sua implementação implicaria na representação de inúmeras dimensões em um mapa bidimensional.

Eliminada essa possibilidade, foi considerada a opção de representação de informações sobre radiação não ionizante (RNI) no espaço. Uma vez que medidas de RNI em banda larga basicamente representam o somatório de radiações de todas as frequências, essa opção eliminaria o problema das múltiplas dimensões do espectrograma no espaço. Considerando-se a crescente preocupação da sociedade com os níveis de radiação provenientes das diversas antenas instaladas nas áreas urbanas, especialmente para atendimento da telefonia celular, essa representação reveste-se de especial interesse.

Conforme já mencionado, os mapas de RNI disponibilizados pela Anatel apresentam limitações que podem ser eliminadas com o uso de técnicas de visualização de dados.

4.2 Técnicas de visualização

O objetivo principal da visualização, segundo Ware (2012) é otimizar as aplicações para que elas nos ajudem a realizar o trabalho mental de forma mais eficiente. Usamos visualizações porque elas nos ajudam a resolver problemas mais rapidamente ou de forma mais eficiente. Conforme indicado em Shirley (2015), a visualização pode ser usada para gerar novas hipóteses ao explorar um conjunto de dados completamente desconhecido, para confirmar hipóteses existentes em um conjunto de dados parcialmente entendido, ou para apresentar informações sobre um conjunto de dados conhecido para outro público.

A técnica de representar valores em um mapa variando sequência de cores é chamada pseudocoloração (WARE, 2012). Pseudocoloração é amplamente utilizada para gráficos de radiação astronômica, imagens médicas e muitas outras aplicações científicas, constituindo-se em uma excelente opção para representação das medidas de RNI no espaço.

O esquema de codificação mais utilizado na visualização de dados é uma sequência de cores que se aproxima do espectro físico. Neste trabalho utilizaremos um subconjunto desta sequência, partindo do amarelo para valores baixos até o vermelho para valores maiores. A limitação do número de cores proporciona uma visualização menos “poluída” e de interpretação mais intuitiva.

Além da pseudocoloração, a ferramenta de visualização implementada baseia-se também na utilização de tamanhos de formas para representação dos níveis de medidas em cada ponto apresentado no mapa, em substituição às bandeiras e rótulos apresentados na ferramenta da Anatel.

4.3 Caracterização dos dados

O conjunto de dados utilizados para teste consiste em tabelas de medidas de RNI em banda larga obtidas em diversos pontos da cidade de Porto Alegre com equipamento da marca Saltech modelo URCA. A descrição dos campos e tipos de dados é apresentada na tabela 4.1. As informações mais relevantes do arquivo de medidas são a data e hora da medida, nível médio e nível máximo da medida no ponto e as coordenadas do ponto.

Para implementação da solução, foi utilizada a ferramenta Tableau, disponível em <http://www.tableau.com/>. A ferramenta disponibiliza uma ampla variedade de opções de visualização para diversas funcionalidades, e se mostrou plenamente adequada para obtenção da visualização desejada. Os resultados obtidos são apresentados a seguir.

Tabela 4.1 - Conjunto de dados de Medidas

Campo	Tipo de dado	Máscara	Exemplo
Início Coleta	Data e Hora	dd/mm/aaaa hh:mm:ss	22/06/2010 14:09:47
Duração da Coleta (s)	Inteiro	nn	6
Número de amostras	Inteiro	nn	29
Campo Elétrico Médio (V/m)	Decimal	nn,nn	0,668
Campo Elétrico Máximo (V/m)	Decimal	nn,nn	1,897
Desvio Padrão do Campo (V/m)	Decimal	nn,nn	0,742
GPS Médio Latitude	Grau Decimal	(signal)nn,nn	-51,207
Desvio Padrão do GPS Latitude	Decimal	nn,nn	0
GPS Médio Longitude	Grau Decimal	(signal)nn,nn	-30,048
Desvio Padrão do GPS Longitude	Decimal	nn,nn	0

Fonte: URCA2571_20100622143342.csv

4.4 Visualização das medidas de RNI

4.4.1 Mapeamento dos Dados e Ajustes de Escala

A partir de testes dos arquivos de medidas com o Tableau, foram testadas diversas possibilidades de visualização dos dados das medidas no mapa. A opção que apresentou resultados mais satisfatórios foi o mapeamento dos valores médios medidos para uma escala de cor em objeto circular, com tamanho definido pelo nível máximo medido no ponto.

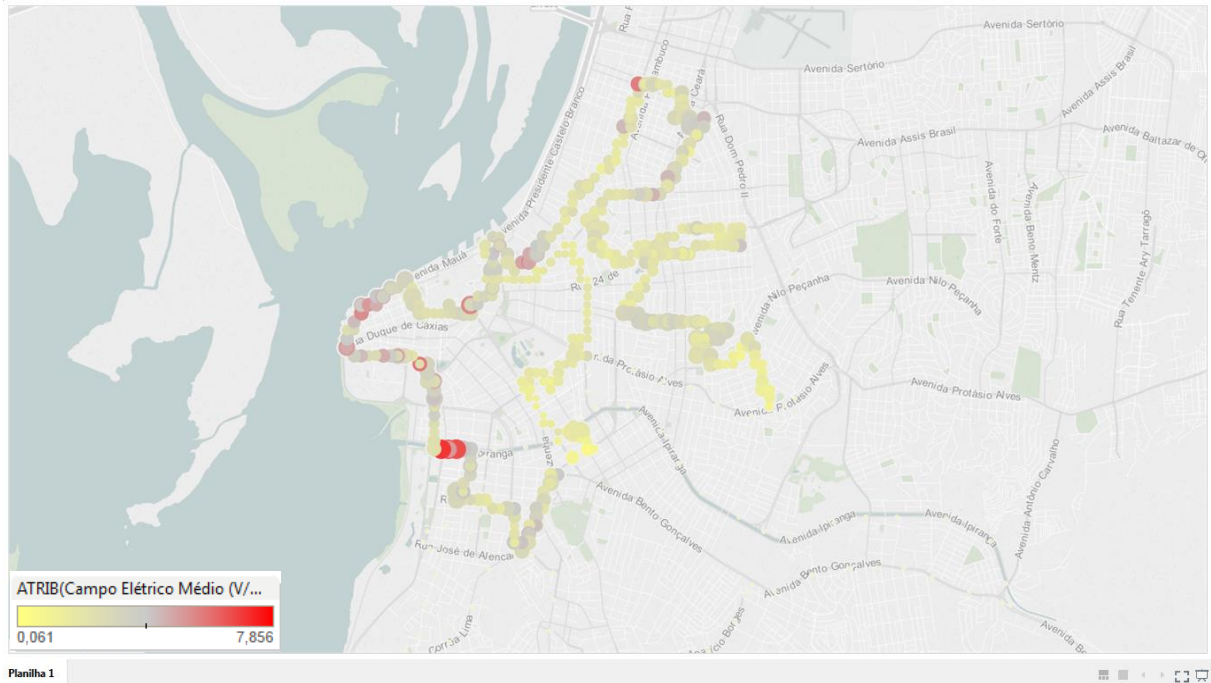
A solução descrita, utilizando uma paleta de cores de amarelo (nível mais baixo) a vermelho (nível mais alto) mapeados automaticamente para os valores mínimos e máximos da tabela, fornece a visualização ilustrada na figura 4.1.

Percebe-se claramente que a solução obtida fornece diretamente uma noção geral dos níveis de radiação e permite a identificação rápida dos pontos e áreas de maior exposição, sem necessidade de verificação individual de cada ponto.

No entanto, ao considerar apenas os níveis da tabela de medidas sem avaliar sua relação com os limites de radiação, a associação de escala do eixo de cores pode levar a interpretações errôneas da visualização, passando a impressão de que os pontos vermelhos teriam radiação em níveis críticos. Tal interpretação não procede, pois os pontos em vermelho nessa escala são inferiores a 8 V/m, enquanto o limite na faixa mais restritiva situa-se na faixa

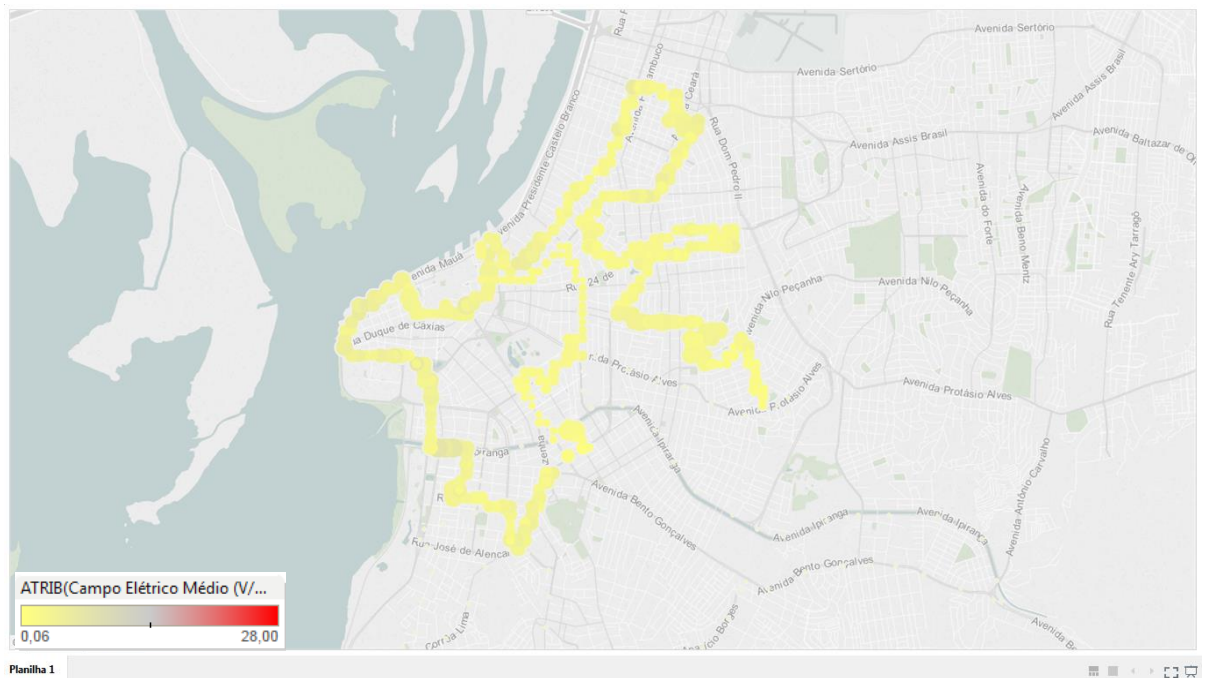
de 28 V/m. Para eliminar esse efeito, podemos alterar o mapeamento da cor vermelha do valor máximo medido para o limite de exposição máximo de 28 V/m. O resultado desta alteração é apresentado na figura 4.2.

Figura 4.1. Visualização com escala automática



Fonte: o Autor

Figura 4.2. Visualização com escala ajustada aos limites de exposição



Fonte: o Autor

Com este ajuste de escala, percebe-se que todas as medidas encontram-se na parte inferior da escala, indicando que os níveis medidos encontram-se muito abaixo dos limites máximos de radiação não ionizante estabelecidos em regulamento.

No entanto, embora essa escala apresente uma visualização mais realista das medidas com relação aos limites estabelecidos, possui a desvantagem de dificultar a diferenciação entre os níveis medidos.

Por essa razão, visando uma análise mais detalhada dos dados, no restante deste trabalho utilizaremos a escala ajustada utilizando como referência de máximo o maior valor medido (conforme a figura 4.1), o que possibilita uma melhor diferenciação entre os níveis. Para contornar o problema da interpretação errônea de níveis críticos, foi adicionado um histograma à visualização, o qual será discutido posteriormente.

A escala de cores mostra-se muito adequada para aplicações que objetivam fornecer uma visão geral dos dados mapeados. Para análise quantitativa, no entanto, torna-se necessária a complementação da visualização com maior detalhamento. Isso pode ser feito em qualquer ponto de medida através da interação do usuário por meio de um clique na medida desejada.

A ação de clique em um ponto resulta na apresentação de detalhes específicos da medida, como a data e hora de sua realização, valores de campo máximo e de campo médio medidos, além das coordenadas de latitude e longitude do local.

A figura 4.3 apresenta o detalhamento da medida em um ponto do mapa.

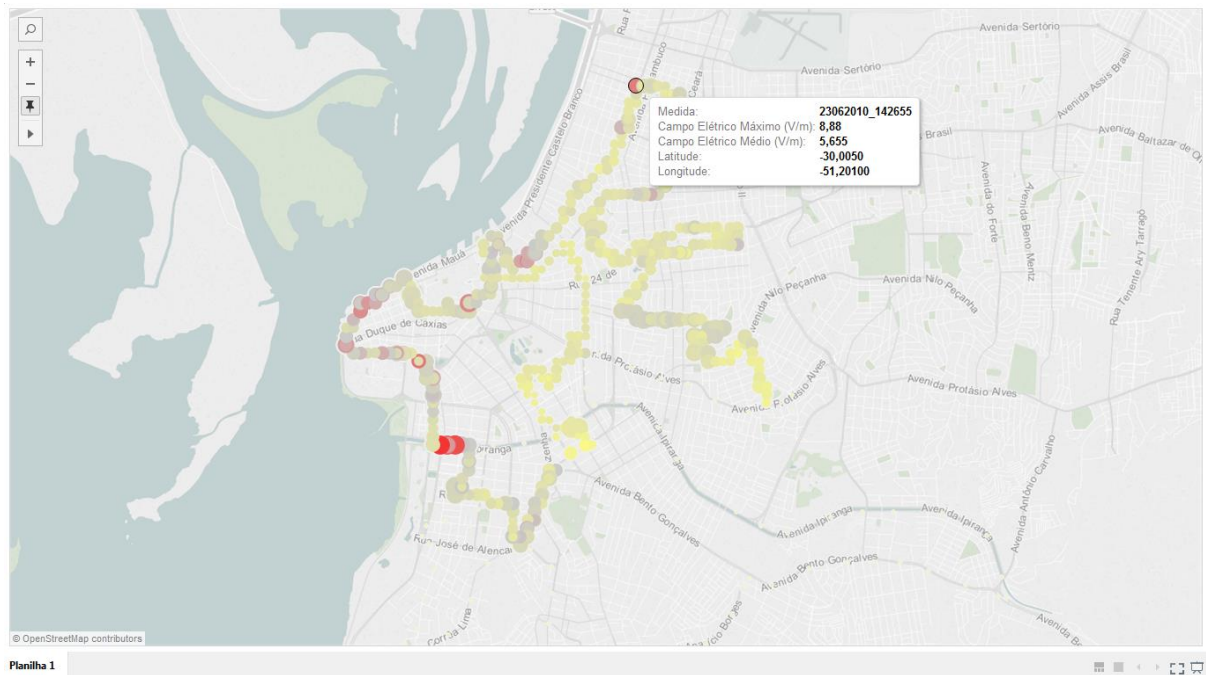
4.4.2 Análise de Atributos

Conforme mencionado anteriormente além do mapeamento dos valores médios de campo para uma escala de cores, a visualização apresenta também um mapeamento dos valores máximos de campo medidos para o tamanho do ponto.

Esta solução permite a análise comparativa entre os dois tipos de medidas. Na avaliação de medidas de radiação considera-se o valor médio de campo.

A análise dos dados na visualização permite verificar de forma direta que, de fato, picos máximos de radiação podem não ser representativos da medida por não estarem necessariamente associados a valores altos na média.

Figura 4.3. Visualização com detalhamento da medida em um ponto, sob demanda do usuário.

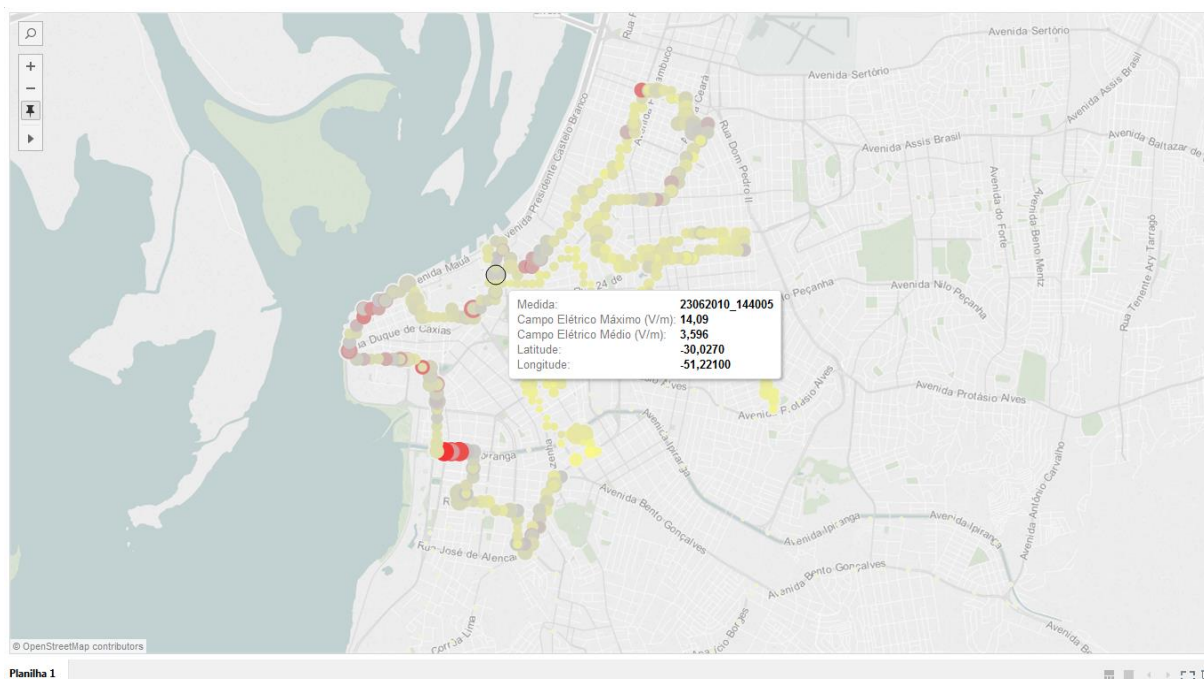


Fonte: o Autor

Essa questão pode ser ilustrada através da figura 4.4. Mesmo sem o detalhamento da medida, é possível verificar pelo tamanho associado ao ponto que seu valor de pico é significativo.

O detalhamento da medida no ponto permite verificar um valor de pico de 14 V/m. No entanto, o valor médio no local foi de apenas 3 V/m, de forma que é possível inferir que o valor de pico não é representativo na amostragem. Por outro lado, a um valor médio alto em geral é associado a um valor de pico de mesma proporcionalidade, o que aponta que seu uso é mais indicado. Analisando as cores da visualização nota-se, por exemplo, que o ponto detalhado na figura 4.5 é um dos que se sobressai com relação aos demais em termos de valor médio. O detalhamento da medida confirma um valor médio da ordem de 7 V/m e um valor de pico de 12 V/m, o que indica que nesse ponto as radiações apresentam valores efetivamente maiores do que no primeiro ponto detalhado, embora aquele apresentasse um valor de pico maior.

Figura 4.4. Comparação entre Níveis Médios e de Pico



Fonte: o Autor

Essa característica de correlação entre valores de pico e valores médios fica bastante evidente na visualização pelo fato de não visualizarmos pontos vermelhos de tamanho pequeno, mas visualizarmos pontos grandes que não são vermelhos.

Ao percebermos um ponto de maior interesse como o da figura 4.5, torna-se interessante a aplicação de zoom na visualização, com o objetivo de verificarmos as medidas nas adjacências e obter maiores detalhes sobre o local em análise.

A figura 4.6 apresenta um zoom sobre o segundo ponto detalhado. O zoom da visualização permite verificar que os valores mais altos são acompanhados por medidas de mesma ordem nas adjacências, configurando uma região de interesse para análise.

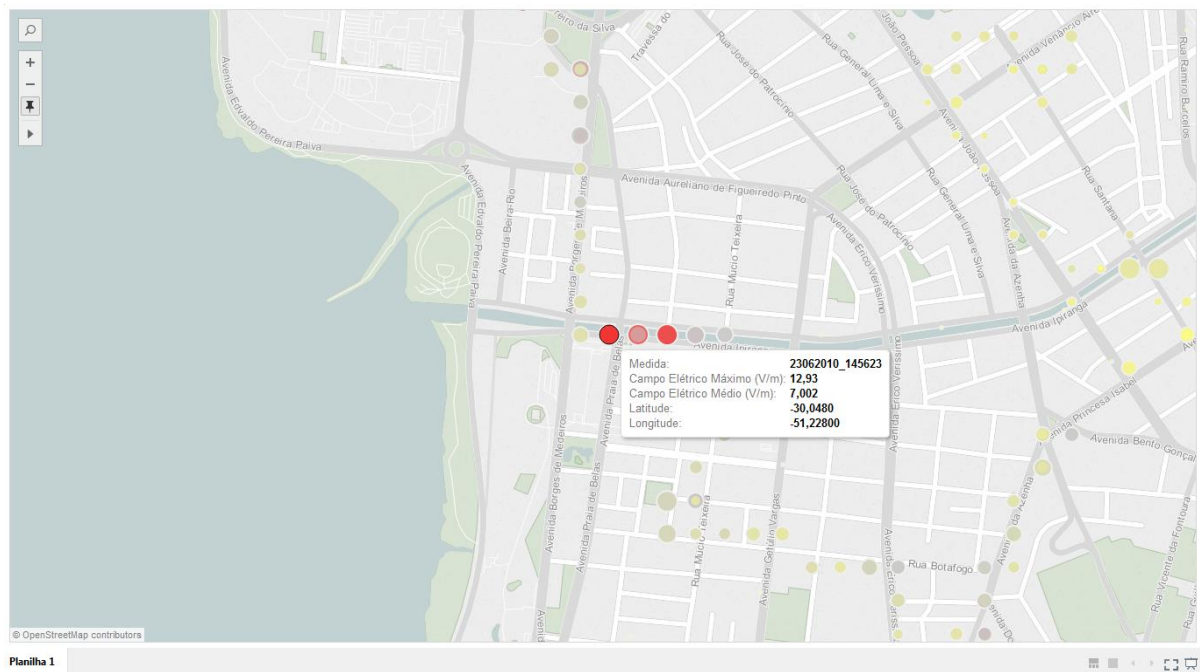
Além disso, o zoom proporciona uma análise mais precisa da correlação entre tamanho e cor da visualização (valores de pico e médios, respectivamente). Fica também mais evidente o caráter discreto dos pontos da medida que, em uma visualização menos detalhada, podem passar uma impressão de continuidade que não condiz com a natureza dos dados.

Figura 4.5. Ponto de interesse onde devem ser realizadas análises mais detalhadas



Fonte: o Autor

Figura 4.6. Ampliação da região de interesse



Fonte: o Autor

Figura 4.7. Detalhes da medida

Cidade	Estado	Local	Medida	País	Campo Elétrico Máximo (V/m)	Campo Elétrico Médio (V/m)	Desvio Padrão	Latitude	Longitude	Número de registros
Porto Alegre	Rio Grande do Sul	Av Ipiranga (Shopping Praia de Belas)	23062010_145623	Brasil	12,9310	7,00200	3,60000	-30,0480	-51,2280	1

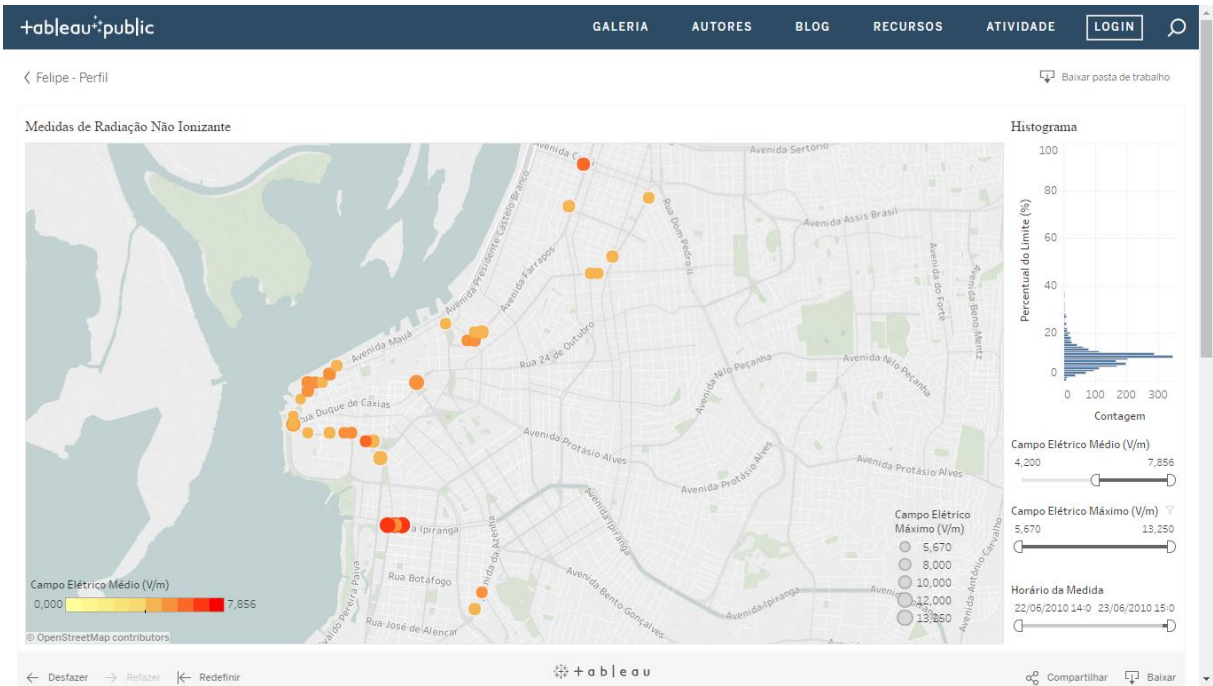
Fonte: o Autor

Além dos detalhes apresentados no exemplo anterior, a visualização permite ainda a apresentação completa dos dados da tabela do ponto em análise. A ferramenta Tableau disponibiliza, inclusive, informações adicionais com base nos dados originais, como, por exemplo, o endereço do ponto, determinado automaticamente a partir das informações de latitude e longitude constantes na base de dados. A figura 4.7 apresenta o detalhamento completo das informações do ponto analisado.

4.4.3 Adição de Filtros e Histograma

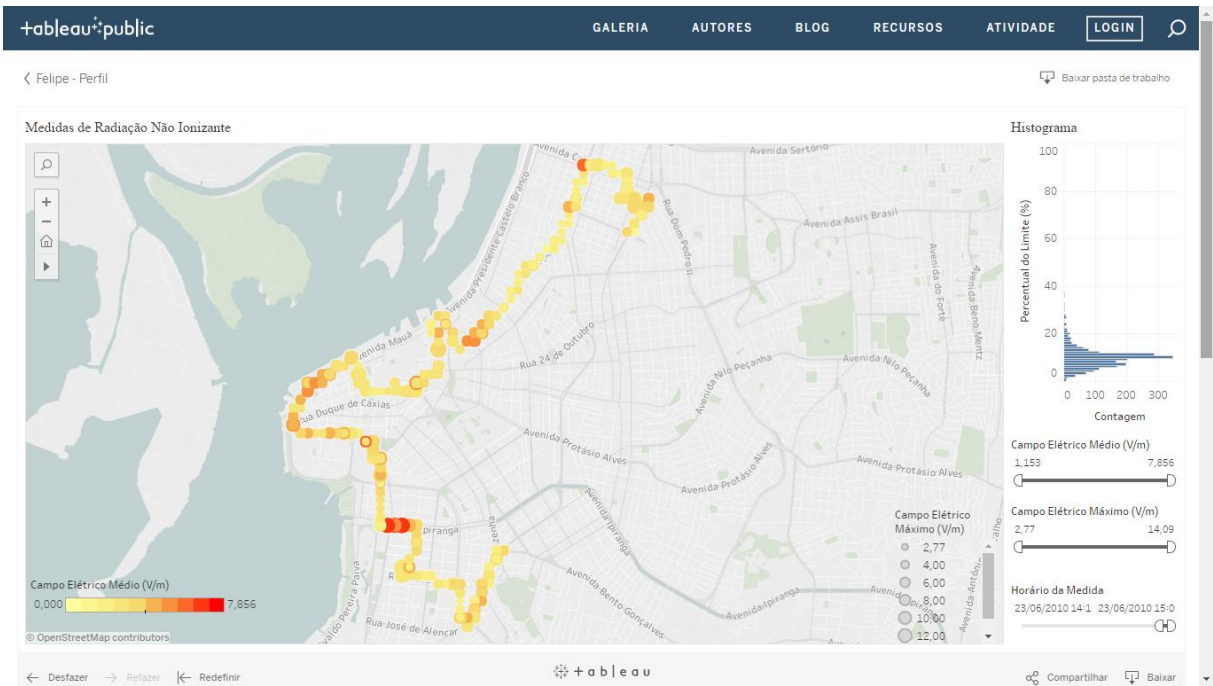
Visando a complementação da visualização e melhor apoio à interação com o usuário, foram adicionados filtros e um histograma, além de uma melhoria na escala de cores. O principal objetivo do histograma, conforme mencionado anteriormente, é fornecer uma visão geral sobre o conjunto das medidas em relação aos limites de exposição, para evitando uma interpretação errônea de que as medidas visualizadas em vermelho. Já os filtros possibilitam a visualização direta conforme os critérios definidos pelo usuário. As figuras 4.8, 4.9 e 4.10 apresentam, respectivamente, uma visualização com filtro de nível médio, uma visualização com filtro de data e hora e a visualização sem filtros com o histograma.

Figura 4.8. Filtro no Campo Elétrico Médio



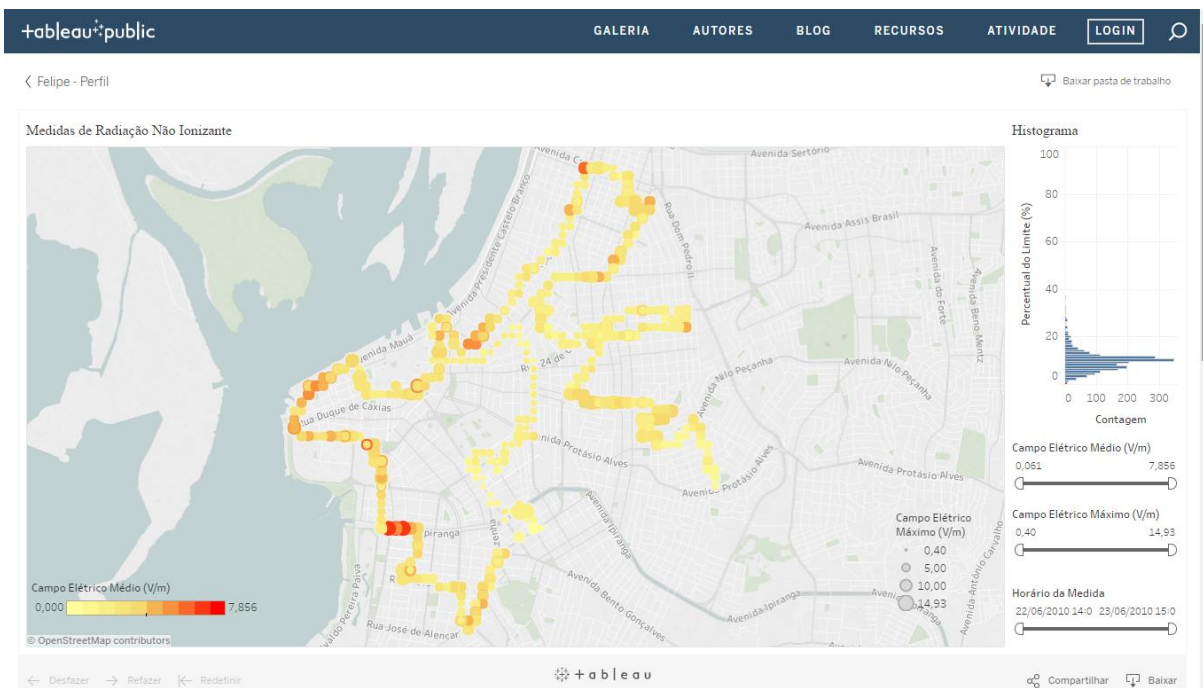
Fonte: o Autor

Figura 4.9. Filtro na Data e Hora da Medida



Fonte: o Autor

Figura 4.10. Visualização Final com Filtros Disponíveis e Histograma



Fonte: o Autor

5 RESULTADOS OBTIDOS

5.1 Metodologia de avaliação

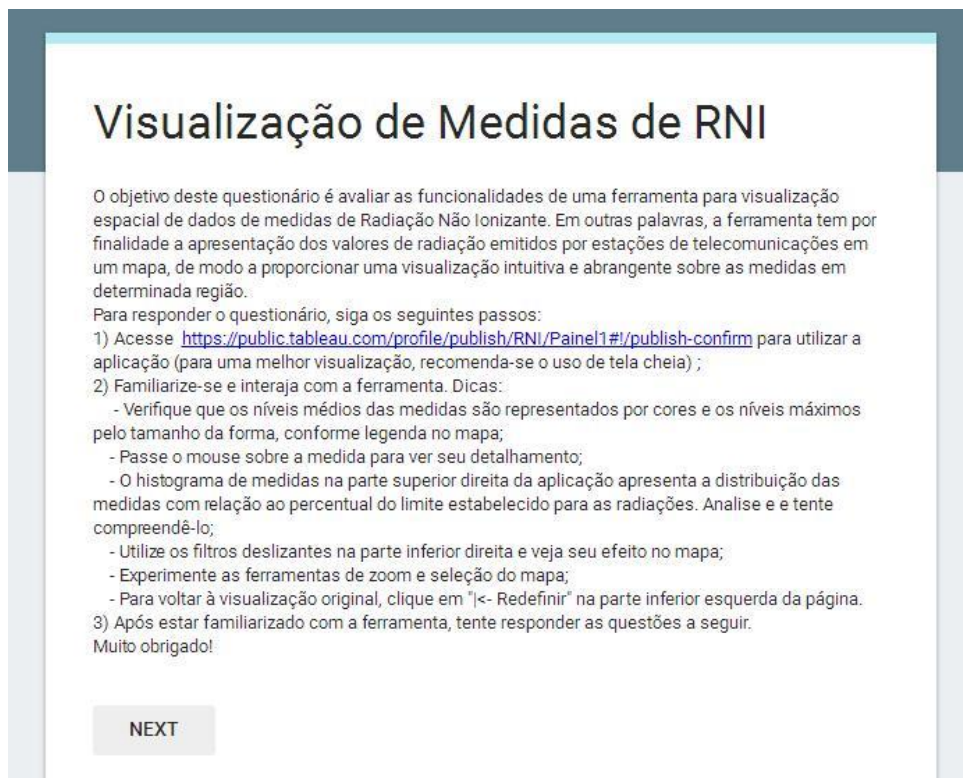
A ferramenta de visualização implementada foi disponibilizada no endereço eletrônico <https://public.tableau.com/profile/publish/RNI/Painel1#!/publish-confirm>.

O convite para utilização experimental de teste da ferramenta e preenchimento do formulário de avaliação foi enviado a um grupo de servidores da Anatel no Rio Grande do Sul, a maior parte destes lotados no setor de fiscalização. O teste teve o intuito de buscar informações sobre a compreensão dos dados por parte dos usuários ao utilizar as visualizações. Dezesseis servidores realizaram o teste, e as respostas do questionário de avaliação serão discutidas em seções específicas.

5.1.1 Conteúdo do questionário

As questões foram divididas em quatro seções: introdução, perfil do usuário, análise das medidas e avaliação da ferramenta, conforme apresentado a seguir. As questões do formulário são apresentadas nas figuras 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 e 5.6.

Figura 5.1. Seção introdução



Fonte: o Autor

Figura 5.2. Seção Perfil

Visualização de Medidas de RNI

* Required

Perfil

Indique seu nível de escolaridade (marque o mais recente) *

Ensino Fundamental

Ensino Médio

Ensino Superior

Pós-graduação

Indique sua experiência como usuário de sistemas interativos (marque todas as aplicáveis) *

Sim, com sistemas web usuais (sites de compra, redes sociais, sites bancários, etc)

Sim, com mapas e serviços de localização (Google Maps, Open Street Maps, etc)

Sim, com sistemas necessários às minhas atividades profissionais

Não, apenas navego e faço consultas na web

Indique seu nível de conhecimento da área de telecomunicações *

1 2 3 4 5

Pouco Conhecimento Muito Conhecimento

BACK NEXT

Never submit passwords through Google Forms.

Figura 5.3. Seção Análise das Medidas (parte 1)

Visualização de Medidas de RNI

* Required

Análise das Medidas

As maiores medidas de nível médio situam-se no quadrante inferior esquerdo do mapa *

Verdadeiro

Falso

É fácil chegar à conclusão da questão anterior *

	1	2	3	4	5	
Discordo Totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo Totalmente

A maior medida de nível médio é inferior a 8 V/m *

Verdadeiro

Falso

É fácil chegar à conclusão da questão anterior *

	1	2	3	4	5	
Discordo Totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo Totalmente

Fonte: o Autor

Figura 5.4. Seção Análise das Medidas (parte 2)

O local com a maior medida de nível médio é também o local com a maior medida de nível máximo *

Verdadeiro

Falso

É fácil chegar à conclusão da questão anterior *

	1	2	3	4	5	
Discordo Totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo Totalmente

Conforme o histograma, a maioria das medidas estão abaixo de 20% do limite estabelecido *

Verdadeiro

Falso

É fácil chegar à conclusão da questão anterior *

	1	2	3	4	5	
Discordo Totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo Totalmente

Never submit passwords through Google Forms.

Fonte: o Autor

Figura 5.5. Seção Avaliação da Ferramenta (parte 1)

Visualização de Medidas de RNI

* Required

Avaliação da Ferramenta

O uso de cores para representação das medidas auxilia na visualização e compreensão dos dados *

	1	2	3	4	5	
Discordo Totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo Totalmente

O uso do tamanho de formas para representação das medidas auxilia na visualização e compreensão dos dados *

	1	2	3	4	5	
Discordo Totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo Totalmente

A visualização facilita o entendimento dos locais onde as medidas de RNI são mais fortes (ou mais fracas) *

	1	2	3	4	5	
Discordo Totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo Totalmente

Fonte: o Autor

Figura 5.6. Seção Avaliação da Ferramenta (parte 2)

A aplicação é eficaz em apresentar um panorama geral sobre as medidas de radiação no espaço *

1 2 3 4 5

Discordo Totalmente Concordo Totalmente

Indique o tempo aproximado que você precisou para responder ao questionário *

Choose ▼

Utilize esse espaço para comentários, críticas ou sugestões sobre a aplicação

Your answer

BACK SUBMIT

Never submit passwords through Google Forms.

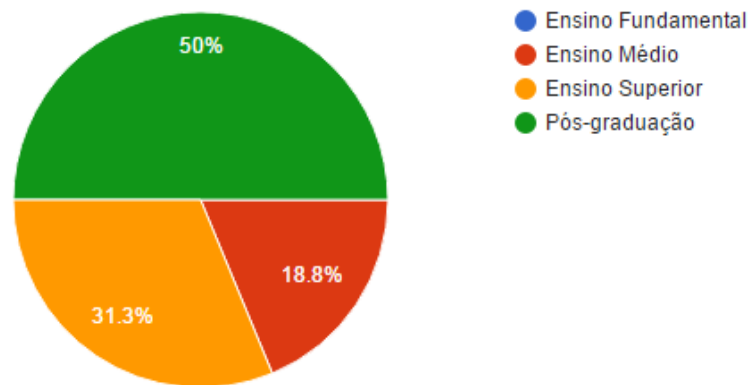
Fonte: o Autor

5.2 Resultados

5.2.1 Resultados da seção perfil

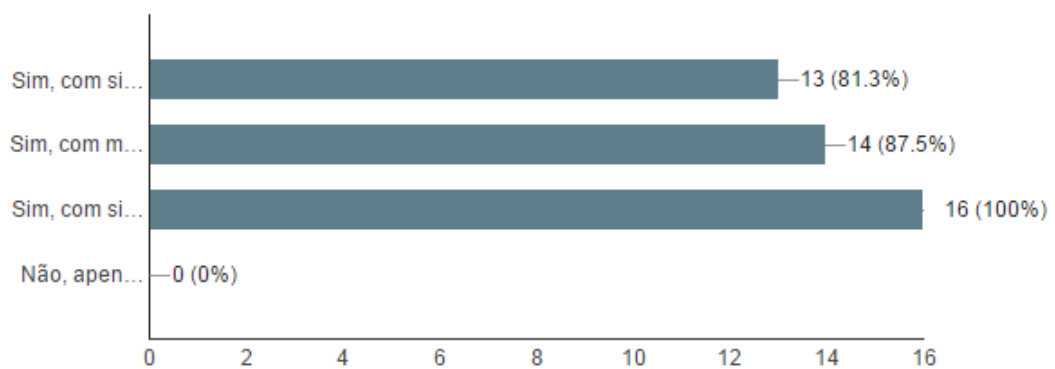
Quanto ao perfil dos respondentes, mais de 80%, declararam possuir formação superior e experiência com sistemas web e mapas digitais, além de experiência na área de telecomunicações. Os gráficos referentes ao perfil são apresentados nas figuras 5.1, 5.2 e 5.3.

Figura 5.7. Escolaridade



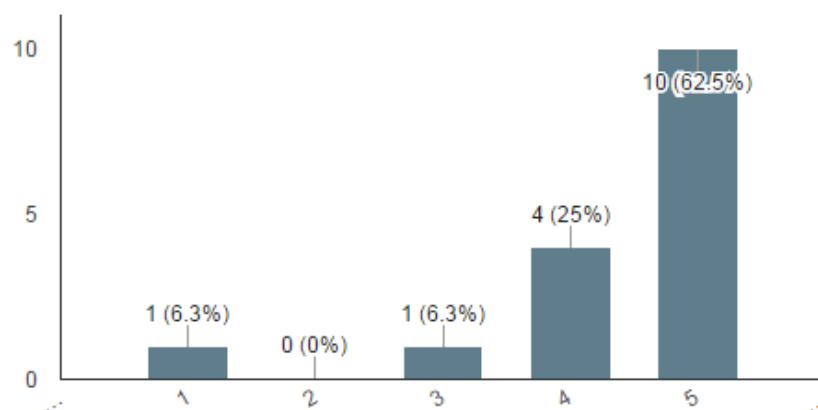
Fonte: o Autor

Figura 5.8. Familiaridade com Sistemas



Fonte: o Autor

Figura 5.9. Conhecimento da Área: 1= pouco conhecimento; 5=muito conhecimento.

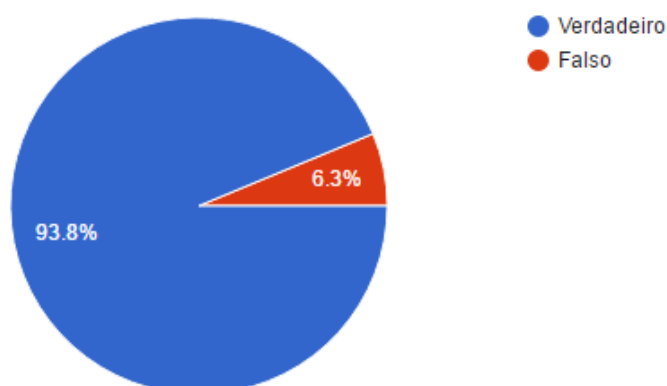


Fonte: o Autor

5.2.2 Resultados da seção de análise das medidas

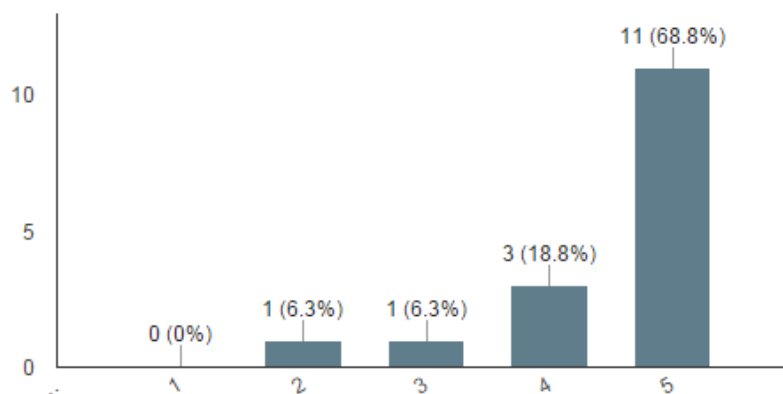
Nas questões sobre análise de medidas, os índices de acerto foram superiores a 93%, exceto na questão 8, que buscava avaliar se o usuário seria capaz de distinguir entre nível médio (cores) e máximo (tamanho), em que o índice de acerto foi de 75%. Os gráficos das respostas desta seção são apresentados nas figuras de 5.10, 5.12, 5.14 e 5.16. As figuras 5.11, 5.13, 5.15 e 5.17 indicam a concordância sobre a facilidade para responder a questão imediatamente anterior, variando de 1 (discordo totalmente) a 5 (concordo totalmente).

Figura 5.10. Percepção Geral: *As maiores medidas de nível médio situam-se no quadrante inferior esquerdo do mapa ?*



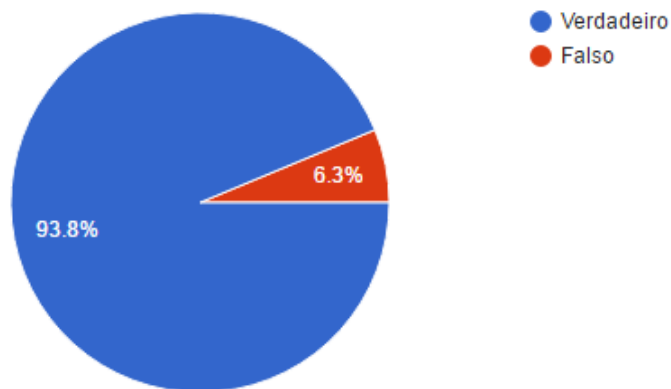
Fonte: o Autor

Figura 5.11. Facilidade de Percepção Geral



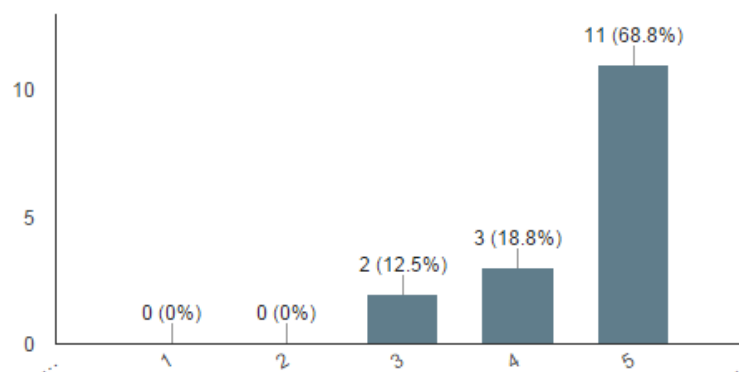
Fonte: o Autor

Figura 5.12. Identificação de Nível: A maior medida de nível médio é inferior a 8 V/m?



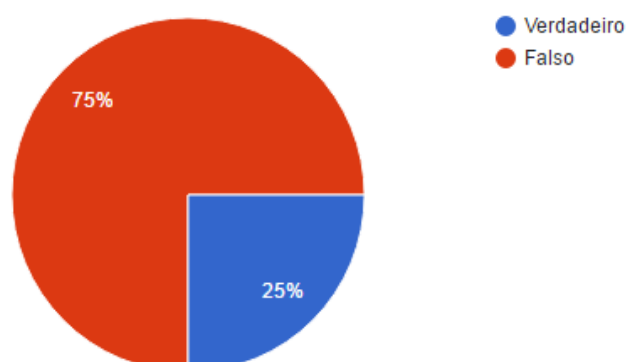
Fonte: o Autor

Figura 5.13. Facilidade de Identificação de Nível



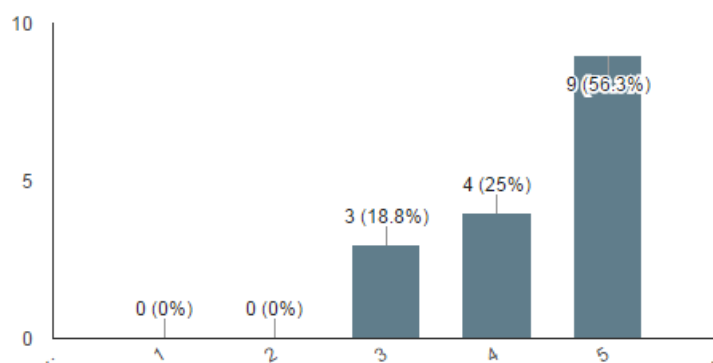
Fonte: o Autor

Figura 5.14. Distinção de Tipos e Uso de Filtros: O local com a maior medida de nível médio é também o local com a maior medida de nível máximo?



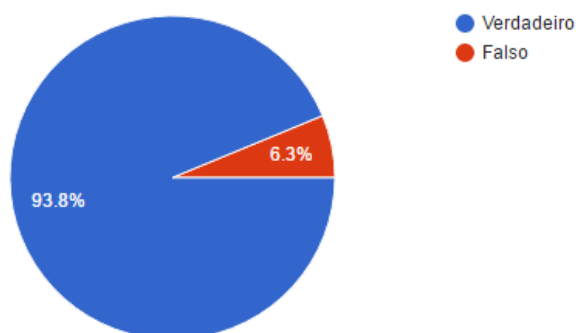
Fonte: o Autor

Figura 5.15. Facilidade de Distinção de Tipos



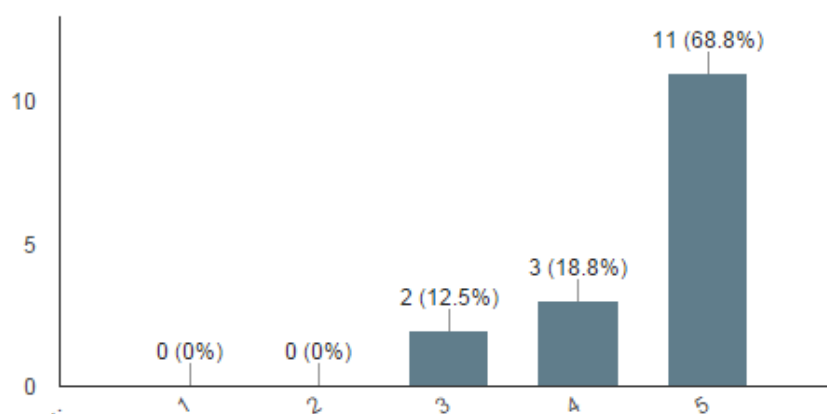
Fonte: o Autor

Figura 5.16. Interpretação do Histograma: Conforme o histograma, a maioria das medidas estão abaixo de 20% do limite estabelecido?



Fonte: o Autor

Figura 5.17. Facilidade de interpretação do histograma



Fonte: o Autor

5.2.3 Resultados da avaliação da ferramenta

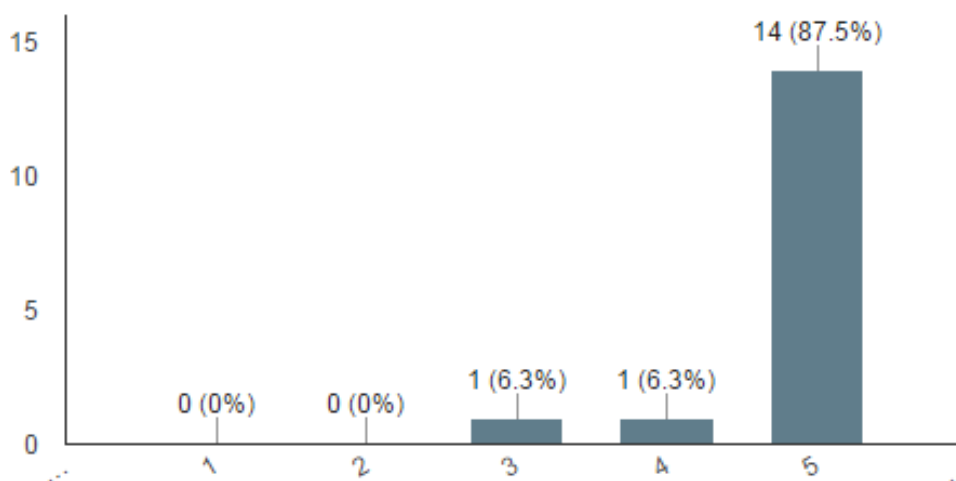
A afirmação de que “o uso de cores para representação das medidas auxilia na visualização e compreensão dos dados” apresentou concordância integral ou parcial em 93% das respostas. Já a concordância para questão similar sobre o uso do tamanho de formas apresentou concordância integral ou parcial inferior, na faixa de 75%.

A concordância integral ou parcial com as afirmações de que “A visualização facilita o entendimento dos locais onde as medidas de RNI são mais fortes (ou mais fracas)” e de que “A aplicação é eficaz em apresentar um panorama geral sobre as medidas de radiação no espaço” foram superiores a 93%.

Quanto ao tempo necessário para análise da ferramenta e preenchimento do formulário, a maioria das respostas (56,3%) indicaram menos de 10 minutos.

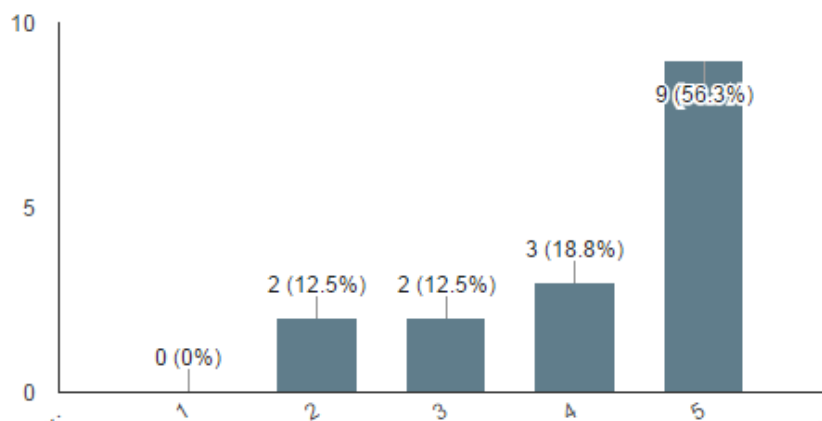
Os gráficos referentes a essas respostas são apresentados nas figuras 5.12, 5.13, 5.14, 5.15 e 5.16.

Figura 5.18. Concordância com Uso de Cores



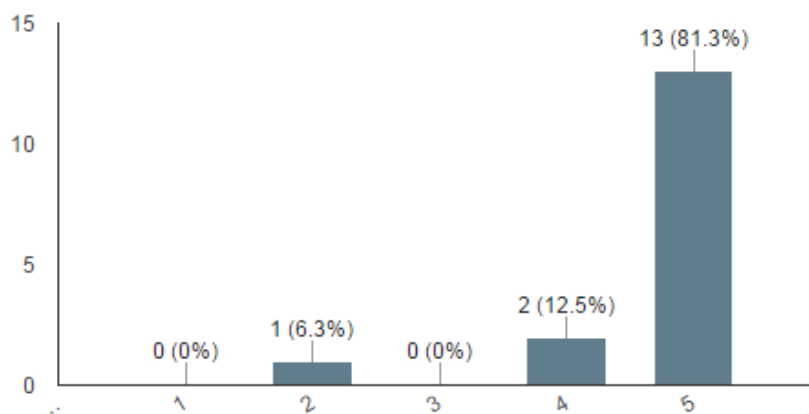
Fonte: o Autor

Figura 5.19. Concordância com Uso de Tamanhos



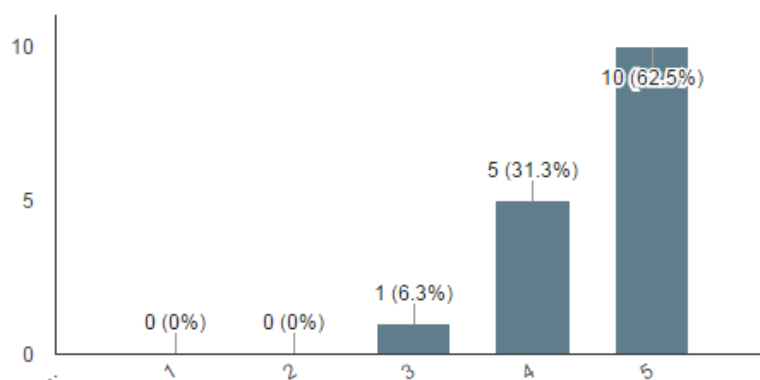
Fonte: o Autor

Figura 5.20. Concordância com Entendimento



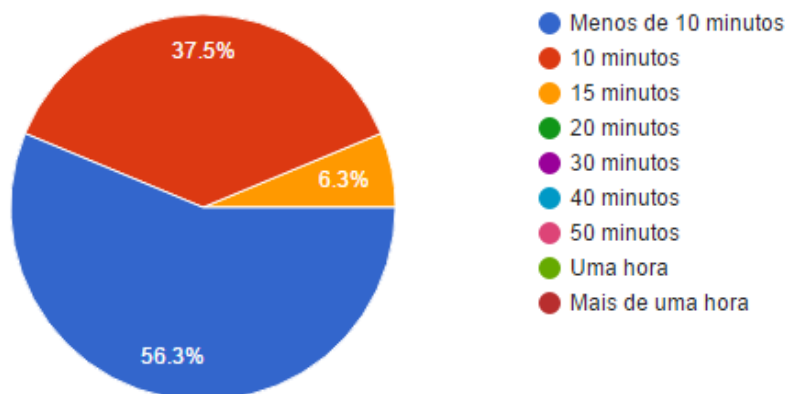
Fonte: o Autor

Figura 5.21. Concordância com Eficácia da Representação Geral



Fonte: o Autor

Figura 5.22. Tempos de Resposta



Fonte: o Autor

5.3 Avaliação dos resultados

Os resultados da avaliação indicam que a ferramenta possibilita uma visualização abrangente das informações. Foram obtidos índices de acerto elevados em tempos de resposta curtos. Através do cruzamento entre as informações do perfil e as respostas, constata-se que os usuários com menos experiências em telecomunicações apresentaram maior taxa de erro nas respostas. Foi possível observar, também, que a percepção de cores apresentou resultados melhores que a percepção de tamanho.

O espaço opcional para comentários, críticas e sugestões apresentou oito respostas, a maior parte delas apresentando comentários positivos. Dois comentários sugeriram melhorias nas cores apresentadas, que foram implementadas na versão final da ferramenta. Um comentário salientou a dificuldade na diferenciação do tamanho das formas (visualização de nível máximo). Também houveram outros comentários e sugestões não relacionados diretamente à visualização, mas que podem ser agregados à ferramenta, tais como indicação da regulamentação aplicável, entre outros. Os comentários são apresentados na figura 5.23.

Os resultados obtidos e o viés positivo dos comentários fornecem um indicativo de viabilidade para uso da ferramenta.

Figura 5.23. Comentários

O tamanho das formas fica confuso, pois no mapa fica muito parecido.

Ótima ferramenta e como recomendação sugiro a utilização de cores mais vivas para indicação de níveis mais altos. Outra sugestão é a plotagem de resultados em mapas offline.

Muito útil, parabéns!

É possível incluir no mapa o quanto de área o campo elétrico cobre no local medido?

Acho que poderiam ser escolhidas mais cores para a representação, não foi possível identificar onde estão os círculos cinza de campo elétrico máximo, há contradição sobre a data da medida, no campo HORÁRIO da medida é apresentada uma data e essa data é diferente da que aparece ao se clicar numa das bolinhas. No campo mais detalhes aparece que há 5 planilhas de trabalho, isso faz parecer que não se tem acesso a todos os dados da pesquisa, talvez fosse melhor não divulgar essa informação. Sugiro colocar o nome filtros nos 3 campos que podem ser filtrados. No gráfico no eixo contagem, sugiro colocar a palavra (amostras, n° de medidas), porque contagem ficou muito amplo. Sugiro explicar o que é histograma, pois pode ser que alguém que responda o questionário não tenha familiaridade com o tema. No título do gráfico "Medidas de Radiação Não Ionizante" sugiro colocar a cidade pois não são todos que sabem que se trata de Porto Alegre.

Em geral a aplicação está ótima, muito funcional e com uso prático.

A ferramenta é adequada para avaliação do níveis de radiações não ionizantes (RNI). É intuitiva e apresenta de forma fácil e rápida os locais com maiores incidência de níveis médio e máximo de campo elétrico. Otimiza o tempo e os recursos dispensados para as ações de fiscalização, pois identifica os pontos críticos onde deverão ser priorizadas ações de fiscalização.

Agregaria algumas referências tais como as normativas utilizadas para definição dos limites (lei municipal ou federal), se refere-se às faixas do SMP e etc... No mais ficou bastante didática e ergonômica para o uso.

Fonte: o Autor

6 AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE AFERIÇÃO DE RNI

Uma vez que a avaliação do uso das técnicas de visualização mostrou ser uma abordagem adequada, é possível associá-las a possíveis melhorias no processo de obtenção, análise e controle das medidas, uma vez que, além de estabelecer os limites de exposição, a Anatel, por iniciativa própria ou por solicitação de partes interessadas, realiza medições para comprovação do atendimento aos limites de exposição estabelecidos.

6.1 Modelagem BPMN

Para a análise do processo de aferição de RNI, torna-se necessária a modelagem deste. Conforme Dumas (2013), a modelagem de processos é pré-requisito para a análise, redesenho e automação de processos de negócio. O autor descreve Business Process Management (BPM) como a arte e a ciência de supervisionar como o trabalho é realizado em uma organização para garantir resultados consistentes e aproveitar as oportunidades de melhoria.

O padrão utilizado para Notação de Modelagem de Processos de Negócio é o Business Process Model and Notation (BPMN), desenvolvido pelo Object Management Group (OMG). O objetivo principal do BPMN é fornecer uma notação que seja facilmente compreensível por todos os usuários de negócios.

6.2 O processo atual

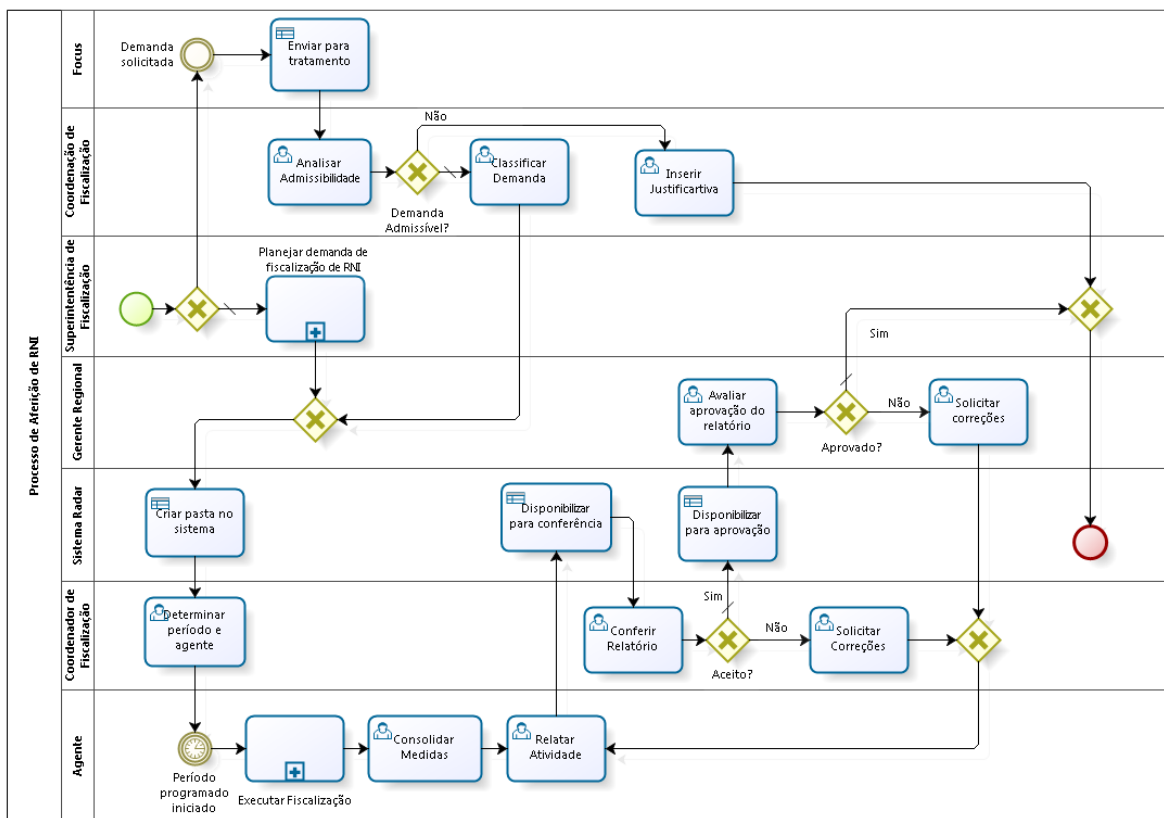
Para analisar modelar o processo, devemos considerar que a aferição de RNI é um entre vários processos desempenhados pela área de fiscalização da Anatel, e a própria fiscalização como um todo é um processo entre outros desempenhados pela agência. Dessa forma, para analisarmos o processo de interesse de forma adequada, é necessário abstrair os processos que não estejam diretamente relacionados a ele. Do mesmo modo, o nível de detalhamento das atividades analisadas não deve ser aprofundado além do necessário para o estudo. Por exemplo, a solicitação que desencadeia o início do processo pode originar-se de diferentes fontes: demanda sistêmica planejada internamente por uma superintendência da agência, atendimento de ordem judicial, demandas de órgãos públicos ou solicitações de pessoas físicas. A origem da demanda, entretanto, não tem influência significativa nos aspectos estudados neste trabalho, de forma que não serão consideradas na revisão do processo.

Considerando estas premissas, o processo atualmente empregado pela agência pode ser descrito textualmente da forma descrita a seguir.

A demanda se inicia ou por demanda pela Superintendência de Fiscalização (Planejar Demanda de Fiscalização de RNI) ou por solicitação de usuários (Demanda Solicitada). No primeiro caso, após o planejamento da atividade é gerada diretamente uma demanda de fiscalização (Criar Pasta no Sistema) no sistema Radar (sistema de fiscalização). No segundo caso, a solicitação primeiramente é recebida pelo sistema Focus, destinado a receber as solicitações de usuários, que por sua vez encaminha para o sistema de fiscalização (Enviar para Tratamento). A admissibilidade da demanda é avaliada na coordenação de fiscalização (Analisar Admissibilidade). Se a solicitação não for admissível (por exemplo, se for uma solicitação sem endereço definido), insere-se justificativa (Inserir justificativa) no sistema para encerramento. Caso contrário, a solicitação é classificada (Classificar Demanda) e a pasta no Radar é criada. O coordenador da fiscalização determina o período e o(s) agente(s) que executará(ão) a atividade (Determinar Período e Agente). Ao chegar ao período programado, o agente providencia equipamentos, veículos e demais recursos necessários (Providenciar Recursos). Caso necessário, também providencia as diárias (Solicitar Diárias). De posse de todos os recursos desloca-se para o local (Dirigir-se ao Local). Realiza uma verificação prévia para identificar três pontos para a medição (Identificar Pontos de Medição). Em cada ponto, instala os equipamentos e executa as medições durante seis minutos (Iniciar Medidas no Ponto X, Finalizar Medidas no Ponto X). Retornando à sua sede (Retornar à Gerência), devolve os recursos (Devolver Recursos), realiza prestação de contas se necessário (Prestar Contas), consolida as medidas (Consolidar Medidas) e elabora o respectivo relatório no sistema Radar (Relatar Atividade). O relatório é conferido pelo coordenador de fiscalização (Conferir Relatório), que pode retorná-lo para ajustes, se necessário (Solicitar Correções). Após a conferência, o relatório é encaminhado para aprovação pelo gerente regional (Avaliar Relatório). Se o relatório for reprovado retorna para o agente; se for aprovado, o processo é encerrado.

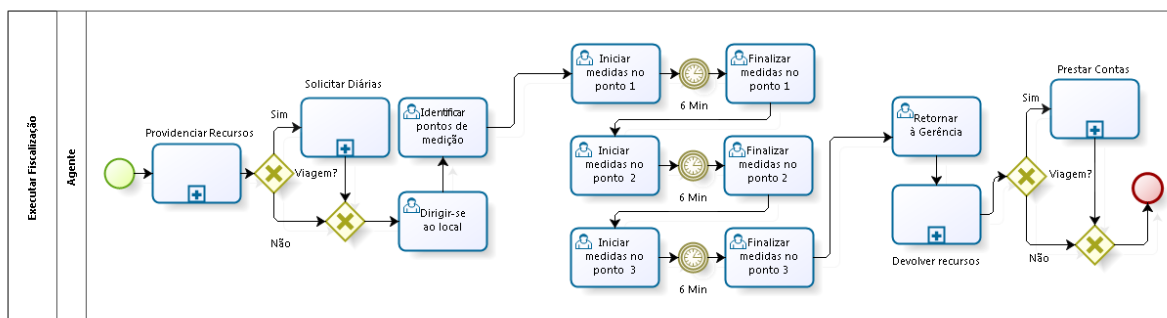
O processo acima descrito, validado pela coordenação de fiscalização e modelado em BPMN, é apresentado na figura 7.1. A figura 7.2 apresenta o subprocesso “Executar Fiscalização”.

Figura 6.1. Processo modelado em BPMN



Powered by
bizagi
Modeler

Figura 6.2. Subprocesso Executar Fiscalização



Powered by
bizagi
Modeler

A qualidade sintática do modelo é indicada pela coerência lógica e pelo uso de boas práticas em BPMN, tais como eventos únicos de início e fim e complementação de Split Joins nos desvios. A validação do modelo, feito junto à coordenação de fiscalização, visa sua qualidade semântica, assim como a qualidade pragmática é indicada pelo grau de entendimento por não participantes do processo.

6.2.1 Estimativas de tempo

O processo modelado demanda por tempo e recursos consideráveis para aferição dos níveis de uma única estação. Uma estimativa do subprocesso principal, “Executar Fiscalização”, definida conforme informações da Coordenação de fiscalização, é apresentado na tabela 6.1.

Tabela 6.1 - Tempo estimado para as principais atividades do Subprocesso Executar Fiscalização

Tarefa	Tempo Estimado
Providenciar Recursos	2 Horas
Solicitar Diárias	15 Minutos
Dirigir-se ao Local	2 Horas
Identificar Pontos de Medição	30 Minutos
Executar Medidas (Iniciar Medidas, Aguardar 6 min, Finalizar)	(3 x) 20 Minutos
Retornar à Gerência	2 Horas
Devolver Recursos	2 Horas
Prestar Contas	15 Minutos
Tempo Total	10 Horas

Fonte: Coordenação de Fiscalização Anatel RS

6.3 Processo proposto

A mudança de paradigma de aferição por estação, normalmente utilizado para outras atividades de fiscalização, para aferição por mapeamento espacial nos moldes da visualização apresentada na seção 4 poderia resultar em melhorias substanciais no processo. A disponibilidade pela agência de equipamentos que geram arquivos de resultados de medições e suas coordenadas geográficas automaticamente permite a possibilidade de monitoração de uma ampla área e, conseqüentemente, de um grande número de estações, em um período menor do que seria possível pelo método atual. A disponibilização destes resultados possibilita a resposta direta ao solicitante para as áreas já monitoradas. E a apresentação dos resultados com uma visualização adequada permite a identificação de locais de interesse para medições pontuais, proporcionando um planejamento eficiente de ações pontuais.

Figura 6.3. Processo modificado modelado em BPMN

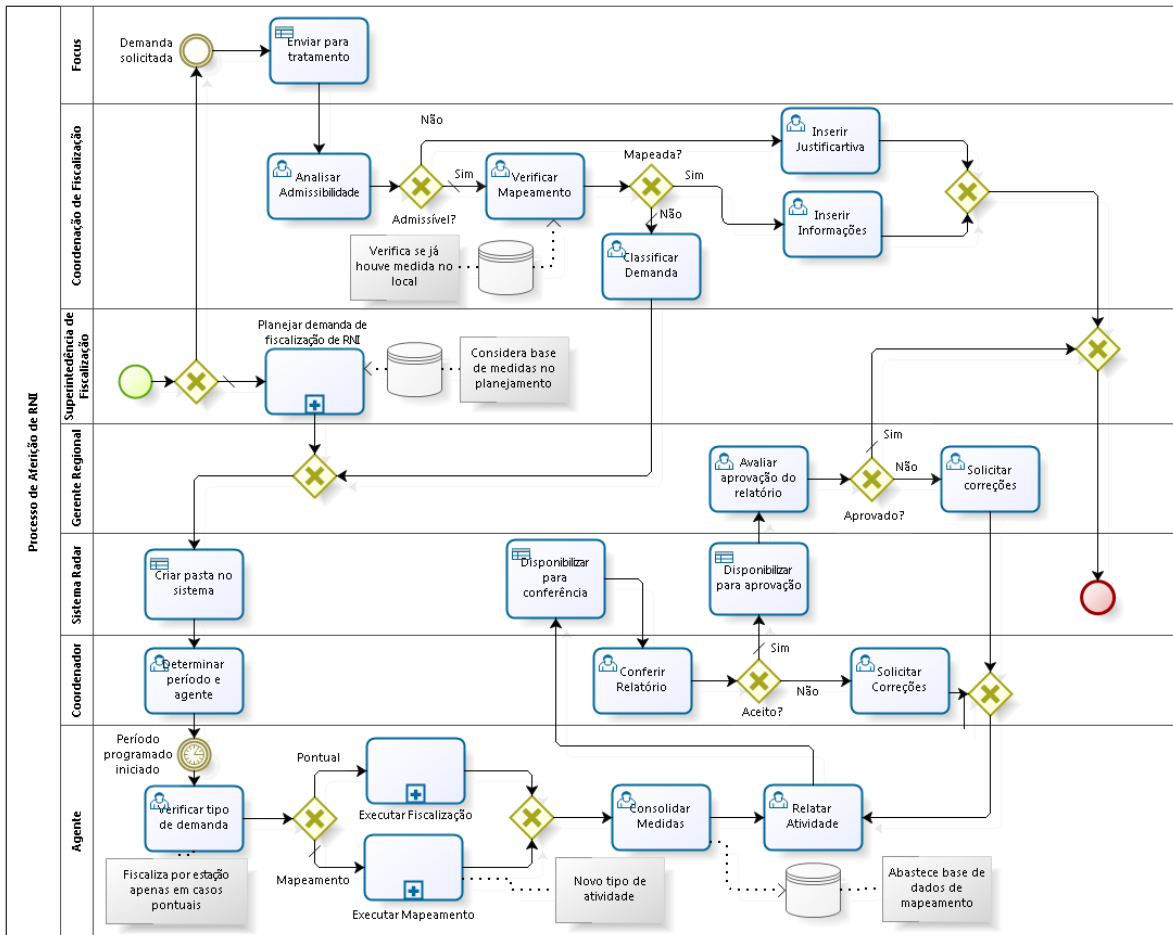
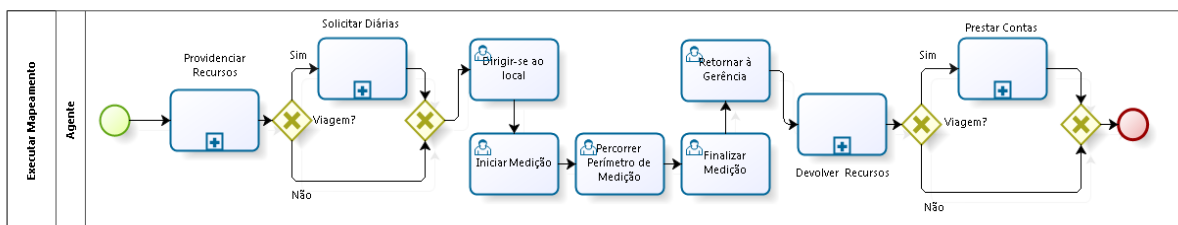


Figura 6.4. Subprocesso “Executar Mapeamento”



Uma nova modelagem do processo baseada neste paradigma é apresentada na figura 6.3. Este modelo inclui um novo subprocesso denominado “Executar Mapeamento” apresentada na figura 6.4, em que, diferentemente do subprocesso “Executar Fiscalização”, ao

chegar ao local inicia-se a medição dos níveis em toda uma região ao invés de três pontos ao redor de uma estação.

6.3.1 Comparação de estimativas de tempo

Para efeitos de comparação da eficiência entre os processos, podemos estimar o número de estações que seriam mapeadas pelo Subprocesso “Executar Mapeamento” no mesmo tempo em que uma única estação seria verificada pelo Subprocesso “Executar Fiscalização”. As estimativas para as atividades desse Subprocesso estão na tabela 6.2.

De acordo com a tabela 6.1, o tempo necessário no Subprocesso “Executar Fiscalização” para a efetiva execução das medidas em uma estação (sem considerar tempos de atividades complementares como providenciar recursos ou deslocar-se ao local, por exemplo) é de 3×20 minutos = 1 hora. Considerando que a diferença fundamental entre este subprocesso e o de “Executar Mapeamento” encontra-se justamente na fase de aquisição das medidas, podemos então verificar a quantidade de estações existentes em uma região percorrida em uma hora de medições pelo segundo subprocesso para comparar a eficiência entre eles.

Conforme os dados das medidas apresentadas na seção 4, em uma hora de medições foi percorrida uma distância de 15 Km, o suficiente para percorrer todas as ruas de uma área urbana com raio de 1 Km. Dessa forma, podemos escolher um ponto da área urbana e verificar a quantidade de estações existentes no raio de 1 Km. Como exemplo, escolhemos um local dentro da área atendida pelas medidas apresentadas anteriormente, com coordenadas $30^{\circ}00'34''00$ S e $51^{\circ}11'00''$ W. O resultado para a consulta do número de estações do SMP num raio de 1 Km deste ponto foi de 28, conforme a figura 7.5.

Tabela 6.2 - Tempo estimado para as principais atividades do subprocesso Executar Mapeamento

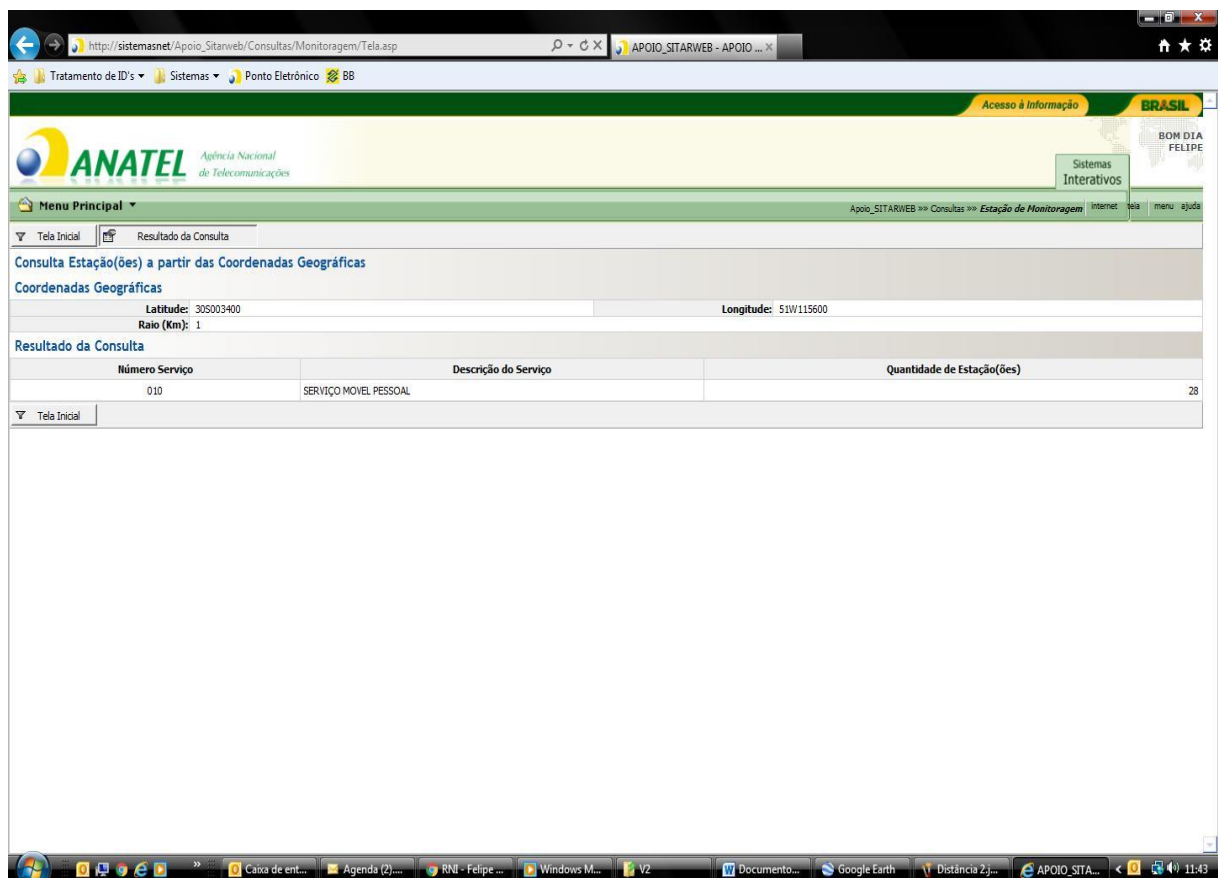
Tarefa	Tempo Estimado
Providenciar Recursos	2 Horas
Solicitar Diárias	15 Minutos
Dirigir-se ao Local	2 Horas
Executar Medidas (Iniciar Medição, Percorrer Perímetro, Finalizar)	1 Hora
Retornar à Gerência	2 Horas
Devolver Recursos	2 Horas
Prestar Contas	15 Minutos
Tempo Total	10 Horas

Fonte: Coordenação de Fiscalização Anatel RS

Com base nessas informações, considerando que ambos subprocessos consomem 10 horas para execução, para o processo “Executar Fiscalização” é possível estimar uma média de uma estação fiscalizada a cada 10 horas, ou 0,1 estação/hora. Já no processo “Executar Mapeamento” a média passaria para 28 estações a cada 10 horas, representando uma taxa de 2,8 estações/hora.

As estimativas acima apresentam alto grau de incerteza, devido a fatores extremamente variáveis, especialmente quanto ao tempo de deslocamento. No entanto, fornecem uma boa ideia sobre a diferença entre os processos, inclusive porque a estimativa do processo proposto foi bastante conservadora, considerando apenas estações de um único serviço e restringindo as medidas ao período de uma hora, resultando em redução da taxa estimada.

Figura 6.5. Estações SMP no raio de 1 km



Assim, pelo exposto acima, é possível vislumbrar possíveis melhorias no processo de aferição de RNI da Anatel. As melhorias podem ser obtidas principalmente em duas frentes: nas atividades de aquisição das medidas e na forma de apresentação e tratamento dos dados

adquiridos. A melhoria na apresentação dos resultados possibilita, ainda, um planejamento mais eficaz das atividades futuras, realimentando o processo.

7 CONCLUSÕES

A área de monitoração do espectro radioelétrico dispõe de diversos equipamentos e recursos de visualização voltados à verificação de sinais ou faixas de frequência específicos. Mas a própria natureza da área, composta de diversas emissões em ampla gama de frequências, com larguras de banda diferentes, potências variadas e modulações dos mais diversos tipos, emitidas de inúmeros pontos do espaço, torna difícil um mapeamento em larga escala das emissões de radiofrequência.

Os resultados obtidos indicam que a proposta aqui apresentada fornece análise e visualização mais abrangentes do que as ferramentas atualmente disponíveis. A visualização proposta permite análise direta de aspectos que seriam de difícil verificação com as ferramentas existentes. Em especial, torna-se trivial a identificação dos locais sujeitos à maior intensidade de radiações. Essa facilidade poderia ser utilizada para o planejamento de ações de fiscalização específicas nos locais, bem como para subsidiar informações a serem consideradas na análise de emissões de novas licenças de radiotransmissores, por exemplo. Conforme discutido na seção 6, a partir da visualização também permite melhorias no processo de aferição.

A ferramenta utilizada para desenvolvimento do trabalho foi o software Tableau Desktop, disponível em <http://www.tableau.com/>. Dentre uma ampla variedade de opções de visualização para diversas funcionalidades disponibilizadas pelo Tableau, para elaboração deste trabalho foi utilizada apenas uma pequena fração relacionada à visualização de dados em mapas e elaboração de histogramas. Os resultados obtidos podem ser considerados amplamente satisfatórios, tanto com relação aos recursos utilizados quanto ao desempenho do software durante a análise dos dados.

Outras formas de visualização disponíveis pelo Tableau podem ser exploradas nessa mesma área de análise de medidas de radiações não ionizantes em aplicações futuras. Por exemplo, formas de visualização das medidas ao longo do tempo ou cruzamento dos dados com outras informações relacionadas.

Análises complementares podem dar continuidade a este trabalho. O resultado mais importante obtido nesta etapa foi a apresentação de uma forma de visualização que permite a identificação de regiões com maiores ou menores níveis de radiação, algo não oferecido pelas ferramentas atuais. Estudos futuros podem ampliar estes resultados, por exemplo, através do cruzamento das informações das medidas com a densidade populacional da região, uma vez

que emissões mais fortes teriam maior impacto numa região mais densamente habitada do que numa região pouco povoada.

Outra possibilidade seria o cruzamento das medidas com as estações transmissoras cadastradas, visando correlacionar o impacto das estações com os níveis de radiação verificados; ou, ainda, a verificação da evolução das medidas ao longo do tempo.

Não se esgotam por aqui as possibilidades da área de mapeamento do espectro, que pode ser fortemente auxiliada pela exploração adequada de técnicas de visualização de dados.

REFERÊNCIAS

ANATEL - **Regulamento sobre limitação da exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos na faixa de radiofrequência entre 9 kHz e 300 GHz**. Anexo à resolução Anatel número 303 de 2 de julho de 2002. Disponível em <<http://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2002/128-resolucao-303#tabelaV>>. Acesso em 08 out 2016.

ANATEL - **Regulamento de Uso do Espectro de Radiofrequências** - Resolução Anatel número 671 de 03 de Novembro de 2016. Disponível em <<http://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2016/911-resolucao-671>> . Acesso em 09 out 2016.

DUMAS, Marlon et al. **Fundamentals of business process management**. Heidelberg: Springer, 2013.

MUNZNER, Tamara. **Visualization Analysis and Design**. CRC Press, 2014.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA - **Lei Geral das Telecomunicações**. Lei nº 9.472/97. Disponível em <https://www.planalto.gov.br/CCivil_03/Leis/L9472.htm> Acesso em 16 out 2016.

OMG - **Business Process Model And Notation Formal Specifications**. 2011. Disponível em <<http://www.omg.org/cgi-bin/doc?formal/11-01-03.pdf>>. Acesso em 05 nov 2016.

OMS - **Electromagnetic fields (EMF) Research** - Disponível em <<http://www.who.int/peh-emf/research/en/>>. Acesso em 08 out 2016.

SHIRLEY, Peter; ASHIKHMIN, Michael; MARSCHNER, Steve. **Fundamentals of computer graphics**. CRC Press, 2015. p. 675-701.

WARE, Colin. **Information visualization: perception for design**. Third Edition. Elsevier, 2012.

YAU, Nathan. **Visualize this!**. John Wiley & Sons, 2012.