



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**SISTEMA DE MEDIÇÃO E ANÁLISE DE
QUALIDADE DE REDES CELULARES**

Vitor de Aguiar Carazza

Brasília, Julho de 2018

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

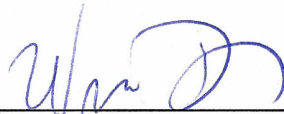
**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**SISTEMA DE MEDIÇÃO E ANÁLISE DE QUALIDADE DE REDES
CELULARES**

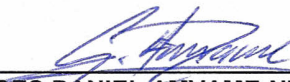
VITOR DE AGUIAR CARAZZA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.

APROVADA POR:



**UGO SILVA DIAS, Dr., ENE/UNB
(ORIENTADOR)**



**GEORGES DANIEL AMVAME-NZE, Dr., ENE/UNB
(EXAMINADOR INTERNO)**



**ROBSON DE OLIVEIRA ALBUQUERQUE, Dr., PR/GSI
(EXAMINADOR EXTERNO)**

Brasília, 31 de julho de 2018.

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha família, aos meus colegas e professores do curso de Engenharia de Redes de Comunicação.

Vitor de Aguiar Carazza

Agradecimentos

Agradeço, primeiramente, por todo apoio e auxílio prestados pela minha família. O carinho e a paciência de vocês sempre me motivaram a ser uma pessoa melhor. Agradeço a equipe do ConSinal pelas experiências que vivemos e pelo desenvolvimento deste projeto. Agradeço ao meu orientador Ugo Silva Dias pela dedicação e esforço. Este trabalho é um dos primeiros de muitos que não deixo de vir por não termos desistido a cada barreira que surgia em nossa frente. Por último, agradeço a Deus por estar sempre cuidando dos meus projetos pessoais e profissionais.

Vitor de Aguiar Carazza

RESUMO

Este trabalho apresenta um sistema para medição e análise de parâmetros de qualidade de redes celulares sob a experiência do usuário. Com o intuito de promover uma plataforma *crowdsourcing*, por meio de um aplicativo instalado em *smartphones* com sistema operacional *Android*, o sistema tira proveito da difusão desse tipo de dispositivo para inferir, em larga escala e baixo custo, análises sobre a rede móvel em diferentes regiões do mundo. Todo processamento dos dados é realizado em uma plataforma computacional em servidores remotos que expõe a sua *API* para que outras aplicações possam consumi-la. Devido à dificuldade em mapear problemas nas redes celulares por parte das prestadoras de serviço e ao cenário atual em que a ANATEL busca melhorias nos processos de aferição de qualidade das redes móveis, o sistema proposto tem por objetivo ser uma ferramenta colaborativa e transparente aos usuários e órgãos do setor de telecomunicações. Este projeto e suas funcionalidades visam ajudar não somente o cliente a escolher seu prestador de serviço, mas também proporcionar análises úteis que possam contribuir para o melhoramento da cobertura celular aos órgãos responsáveis.

ABSTRACT

This work presents a system for measuring and analyzing quality parameters of cellular networks under the user experience. In order to promote a crowdsourcing platform, by means of an application installed on Android smartphones, the system takes advantage of the diffusion of this type of device to infer, on a large scale and low cost, mobile network analytics in different regions of the world. All data processing is performed on remote computing servers that exposes its API so that other applications can use it. Due to the difficulty in mapping problems in cellular networks by service providers and the current scenario in which ANATEL seeks improvements in the processes of quality assessment of mobile networks, the proposed system aims to be a collaborative and transparent tool for the users and telecommunication sector. This project and its features are intended to help not only the customer to choose their service provider, but also to provide useful analyzes that can contribute to the improvement of cellular coverage to the responsible agencies.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	2
1.3	OBJETIVOS	3
1.4	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	4
2	CONCEITOS BÁSICOS	5
2.1	MODELO DE COMUNICAÇÃO CELULAR	5
2.2	QUALIDADE DO SERVIÇO MÓVEL PESSOAL E SUA REGULAÇÃO	8
2.3	O USO DE CELULARES PARA MEDIÇÃO DE QUALIDADE	14
2.4	PROPAGAÇÃO DO SINAL E DESVANECIMENTOS	15
2.5	CONCLUSÃO	16
3	ARQUITETURA DO SISTEMA	17
3.1	COMPONENTE APLICATIVO - USUÁRIO	18
3.1.1	COLETA DE DADOS	18
3.1.2	VISUALIZAÇÃO DOS DADOS	21
3.1.3	APLICATIVO CONSINAL	21
3.1.4	PAINEL DE CONTROLE	24
3.2	SERVIDOR	26
3.2.1	CÁLCULOS E PROCESSAMENTO DE DADOS	27
3.3	CONCLUSÃO	29
4	ANÁLISE DOS DADOS	30
4.1	INTENSIDADE DO SINAL E PARÂMETROS DO SISTEMA	30
4.2	TAXA DE DADOS	38
4.3	COBERTURA DO SINAL	46
4.4	COBERTURA CLASSIFICADA POR CONEXÕES ATIVAS	51
4.5	VOZ SOBRE LTE	53
4.6	USO DE DADOS	56
4.7	CONCLUSÃO	62
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	64

LISTA DE FIGURAS

2.1	Modelo de comunicação celular.	5
2.2	Código de canal de rádio frequência (RFC) para LTE.	7
2.3	Cumprimento de Metas da Resolução nº 575/2011, Anatel [8].	13
2.4	As três componentes do sinal em propagação [19].	16
3.1	Modelo de arquitetura REST-API retirado de [29].	18
3.2	Telas do aplicativo e suas funcionalidades.	22
3.3	Painel de Controle - pontos de medição.	25
3.4	Painel de Controle - medições em tempo real.	25
4.1	Trecho percorrido e localização da ERB.	31
4.2	Componentes do sinal. Rede 4G.	32
4.3	Trecho EPTG (Estrada Parque Taguatinga) sentido Taguatinga - Plano Piloto. Rede 4G.	32
4.4	Intensidade do sinal obtida no Trecho EPTG (Estrada Parque Taguatinga) Taguatinga - Plano Piloto.	33
4.5	Velocidade do dispositivo móvel obtida no Trecho EPTG (Estrada Parque Taguatinga) Taguatinga - Plano Piloto.	34
4.6	Altitude do dispositivo móvel obtida no Trecho EPTG (Estrada Parque Taguatinga) sentido Taguatinga - Plano Piloto.	35
4.7	Entrada e saída EPTG. Região de <i>handoffs</i>	35
4.8	Códigos de identificação física das células - LTE. Em preto, o código da célula conectada e nas outras cores as informações coletadas de células vizinhas.	36
4.9	Códigos de tecnologia (15 para HSPA+, 13 para LTE e 10 para HSPA) obtidos no Trecho EPTG (Estrada Parque Taguatinga) sentido Taguatinga - Plano Piloto.	37
4.10	Canais de rádio frequência (RFC) obtidas no Trecho EPTG (Estrada Parque Taguatinga) sentido Taguatinga - Plano Piloto.	37
4.11	Frequência utilizada no Trecho EPTG (Estrada Parque Taguatinga) sentido Taguatinga - Plano Piloto.	38
4.12	Estados de tráfego de dados durante o Trecho EPTG (Estrada Parque Taguatinga) sentido Taguatinga - Plano Piloto.	39
4.13	Trecho 407 Norte, Brasília. Medições mostradas para a rede 4G.	40
4.14	Intensidade do sinal obtida no trecho 407 Norte, Brasília.	41
4.15	Taxa de dados instantânea no trecho 407 Norte, Brasília.	42

4.16	Comparação <i>Speedtest</i> [35] e taxas instantâneas.	43
4.17	Intensidade do sinal no trecho Eixo Monumental, Brasília.	44
4.18	Taxa instantânea de <i>download</i> no trecho Eixo Monumental, Brasília.	44
4.19	Taxa instantânea de <i>upload</i> no trecho Eixo Monumental, Brasília.	45
4.20	Mudança de estados de atividade durante o Trecho Eixo Monumental - Asa Norte, Brasília.	45
4.21	Suporte confeccionado para os celulares.	46
4.22	Dados obtidos para cobertura de rede celular 4G para diversas operadoras.	48
4.23	Dados obtidos para cobertura de rede celular 3G para diversas operadoras.	49
4.24	Gráfico das PDFs dos hexágonos obtidos por operadora.	50
4.25	Gráfico das CDFs dos hexágonos obtidos por operadora.	50
4.26	Gráfico da confiabilidade da intensidade do sinal obtido por operadora.	50
4.27	Cobertura classificada por conexões ativas - Rede 4G - MNO 1.	52
4.28	Cobertura classificada por conexões ativas - Rede 4G - MNO 2.	52
4.29	Cobertura classificada por conexões ativas - Rede 4G - MNO 3.	52
4.30	Estado do dispositivo móvel - VoLTE.	54
4.31	Estado de tráfego de dados do dispositivo móvel - VoLTE.	55
4.32	Intensidade do sinal - VoLTE.	55
4.33	Código de células conectadas - VoLTE.	56
4.34	Taxas instantâneas de <i>download</i> e <i>upload</i> - VoLTE.	57
4.35	Uso de dados no canal de <i>Download</i> - Asa Norte - MNO 1.	57
4.36	Volume de dados trafegados por hexágono, MNO 1.	59
4.37	Volume de dados trafegados por hexágono, MNO 2.	59
4.38	Volume de dados trafegados por hexágono, MNO 3.	59
4.39	Função Densidade Acumulada para a ocorrência do tráfego de dados no sentido <i>download</i> para as MNO 1,2,3.	60
4.40	Função Densidade Acumulada para a ocorrência do tráfego de dados no sentido <i>upload</i> para as MNO 1,2,3.	60
4.41	Função Densidade Acumulada para a significância do tráfego de dados no sentido <i>download</i> para as MNO 1,2,3.	61
4.42	Função Densidade Acumulada para a significância do tráfego de dados no sentido <i>upload</i> para as MNO 1,2,3.	61

LISTA DE TABELAS

4.1 Modelos de celular e respectivas operadoras.	46
---	----

LISTA DE SIGLAS

Siglas

2G	<i>Segunda Geração</i>
3G	<i>Terceira Geração</i>
3GPP	<i>Third Generation Partnership Project</i>
4G	<i>Quarta Geração</i>
AWGN	<i>Additive White Gaussian Noise</i>
AMPS	Advanced Mobile Phone Service
API	Application Programming Interface
ANATEL	<i>Agência Nacional de Telecomunicações</i>
CDF	Cumulative Distribution Function
EIRP	<i>Effective Isotropic Radiated Power</i>
eNodeB	<i>Evolved Node B</i>
ERB	<i>Estação Rádio Base</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IMT	<i>International Mobile Telecommunication</i>
ITU	<i>International Telecommunications Union</i>
KPI	Key Performance Indicator
LAC	<i>Location Area Code</i>
LOS	<i>Line Of Sight</i>
LTE	<i>Long-Term Evolution</i>
MCC	Mobile Country Code
MNC	Mobile Network Code
MNO	Mobile Network Operator
PCI	Physical Cell ID
PDF	<i>Probability Density Function</i>
PSS	Primary Sync Sequence
REST	Representational State Transfer
RFC	Radio Frequency Channel
SMP	Serviço Móvel Pessoal
SSS	Secondary Sync Sequence
TAC	Tracking Area Code
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunication System</i>
VOLTE	Voice Over LTE
WiMAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>

Capítulo 1

Introdução

1.1 Contextualização

A sociedade, atualmente, é caracterizada pela presença da tecnologia no seu cotidiano como apoio ou meio para a realização das mais diversas atividades. Para que esse contexto seja viável e sustentável, as pessoas dependem de sistemas de comunicação eficientes e robustos que possibilitam a disseminação de informações ao redor do mundo em questões de segundos, superando barreiras geográficas ao criar pontes de comunicação globais.

Devido a esses fatores e à extensão da vida social para o mundo digital, é possível notar, nos últimos anos, um enorme crescimento na indústria de comunicação sem fio, tanto se tratando de novas tecnologias que surgem a todo momento quanto do número de adeptos dessa indústria. Nesse contexto, operadoras de telefonia móvel exercem um papel fundamental para o funcionamento desse complexo sistema, viabilizando rede para ligações de voz e conexão a dados. A arquitetura de rede dessas operadoras envolvem diversos níveis de abstração e há bastante complexidade envolvida no processo, principalmente nos extremos da rede, onde geralmente os usuários se encontram. Por se tratar de uma rede móvel, as características do meio em que o usuário se encontra são determinantes para o correto funcionamento do sistema e muitas vezes o planejamento de rede não é capaz de considerar ou prever tais parâmetros. Devido aos fatores imprevisíveis do meio, estratégias de negócios e até mesmo a erros de dimensionamento do projeto, é comum a ocorrência de falhas na rede, como por exemplo a ausência de cobertura em determinadas regiões, interrupção no serviço de voz, lentidão no tráfego de dados, entre outros. É inerente ao serviço de telecomunicação a necessidade constante de melhorias e adaptações no planejamento e nos equipamentos de comunicação utilizados por essas companhias para que a qualidade do serviço prestado apresente nível adequado de excelência para os usuários.

Atualmente, a qualidade dos serviços de telecomunicação prestados é causa frequente de reclamações de usuários no órgão regulador ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) e também nos órgãos de defesa do consumidor. Junto ao de serviços bancários, o setor de telecomunicações se mantém no topo da lista de reclamações, de acordo com levantamento preliminar dos dados do Sistema Nacional de Informações de Defesa do Consumidor (Sindec) e da plataforma

eletrônica Consumidor.gov.br, as duas principais ferramentas de atuação da Secretaria Nacional do Consumidor (Senacon), do Ministério da Justiça e Segurança Pública. Nos atendimentos ao consumidor, telefonia celular, telefonia fixa, cartão de crédito e bancos comerciais são os assuntos mais demandados, que, na maioria dos casos, reclamam de problemas com cobrança e/ou com contratos, vício ou má qualidade de produto ou serviço e problemas com SAC das empresas [1].

Como há uma grande demanda de serviços de comunicação e essa demanda tende a crescer ainda mais, tem-se buscado formas de nivelar e garantir a qualidade da prestação desses serviços. Para isso a ANATEL definiu indicadores de qualidade no Regulamento de Gestão da Qualidade (RGQ-SMP) aprovado pela Resolução nº 575/2011, os quais ela monitora como forma de estimular o aprimoramento dos serviços prestados pelas operadoras. Cada indicador possui uma meta associada que corresponde ao desempenho mínimo estabelecido para a adequada qualidade do serviço para acompanhamento do desempenho das operadoras. Atualmente as próprias operadoras são responsáveis por obter os dados referentes aos indicadores de qualidade de sua própria rede.

Esse assunto também já é foco de pesquisas na academia, que tem desenvolvido trabalhos que buscam proporcionar métodos e meios mais eficientes e abrangentes para aferir qualidade da rede celular, a exemplos dos trabalhos [11] a [18] que serão comentados posteriormente. Alguns desses projetos são desenvolvidos por meio de parceria com órgãos públicos e/ou privados para execução de projetos e estudos. Atualmente, uma das formas plausíveis de obter tais indicadores de qualidade é por meio de dispositivos móveis dos próprios usuários da rede da operadora.

Tal método é visualizado em estudos de âmbito nacional e internacional. Por exemplo, um estudo [2] realizado por alunos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul possuiu uma abordagem comparativa para analisar a qualidade dos sinais de celular. Foram escolhidos como parâmetros de comparação as taxas de *download* e *upload* instantâneas e médias de celulares com chips de quatro operadoras do Brasil. Esse estudo averiguou qual operadora disponibiliza maiores taxas e também foi capaz de identificar situações onde uma melhor intensidade de sinal não significou maior taxa de transferência de dados.

Já em um âmbito internacional, alunos da Aalborg University, na Dinamarca, compararam o desempenho e a acurácia de um aplicativo de medição de sinal, no estilo *crowdsourcing* para Android, com os mesmos parâmetros de aparelhos específicos para análise de sinal (telefones celulares e scanner de frequências de rádio). Por meio dos resultados coletados os alunos conseguiram afirmar que o aplicativo é capaz de medir e apresentar informações sobre a qualidade das redes celulares com acurácia surpreendentemente similar a dos aparelhos específicos para tal finalidade [3].

1.2 Definição do Problema

Atualmente há pouca abordagem a respeito da medição de qualidade do sinal celular na literatura acessível ao público, pois grande parte dos métodos são desenvolvidos e mantidos em sigilo pelas próprias empresas. No caso das prestadoras de serviço, o trabalho para realizar uma medição de campo para testar a qualidade da rede em uma certa região envolve equipamentos caros, equipe

profissionalizada e recursos da empresa, o que acaba diminuindo o interesse destas em realizar testes em maior escala e conseqüentemente identificar as principais falhas em sua rede.

Os dados de qualidade divulgados atualmente são obtidos em sua maioria por meio de medições com equipamentos específicos em lugares selecionados e que sejam acessíveis, dificultando a imparcialidade dos resultados demonstrados ou limitando sua aplicabilidade para fins de aprimoramento de configurações e infraestrutura. Vale ressaltar que esse resultados não abrangem a ótica do cliente, nem consideram as mais diversas condições que mudam de usuário para usuário, ainda que esses estejam em um mesmo local, a exemplo do modelo de celular utilizado, cada celular possui um *hardware* diferente e experimenta condições distintas do meio. Por mais que este cenário represente um característica que foge do controle das operadoras, tem o seu devido valor para as empresas fabricantes dos dispositivos.

Esse contexto configura uma situação crítica para as ações de qualidade, os objetivos das operadoras muitas vezes não vão ao encontro do que seria ideal para o consumidor e seus clientes não sabem como colaborar para que as empresas melhorem seus serviços, não compreendem como abrir suas solicitações e reclamações ou ainda passam seus *feedbacks* de forma equivocada.

Assim, desenvolver uma metodologia capaz de obter indicadores pontuais e objetivos (que não dependa da participação ativa do consumidor mas que possa traduzir a experiência dele) e de abranger diversas informações, que sejam aferidas em maior escala em condições reais para aumentar a representatividade, acerca do serviço de comunicação prestado e da experiência de cada usuário é de extrema importância para visualizar pontos falhos e realizar possíveis aprimoramentos nos estudos de cobertura de qualidade de redes móveis.

1.3 Objetivos

Este trabalho tem como um de seus objetivos gerais apresentar um sistema desenvolvido para medição de qualidade de serviços de telefonia móvel para todas as operadoras, de forma a suprir a atual carência de informação de qualidade e a necessidade de uma ferramenta para tais fins, que seja capaz de abranger as condições reais dos usuários e que contribua diretamente para solucionar falhas e aprimorar as configurações de cobertura de rede.

Ainda como objetivo do projeto, está dentro do escopo a realização de análises de desempenho e qualidade com base nos dados obtidos pelo sistema desenvolvido por meio de medições práticas em cenários reais, a fim de exemplificar algumas das possíveis análises a serem feitas com os dados coletados, como por exemplo:

- Relacionar intensidade do sinal com distância da célula, tecnologia utilizada, velocidade do dispositivo, entre outros parâmetros obtidos.
- Relacionar regiões de *hand-off* com os parâmetros obtidos pela plataforma.
- Relacionar tráfego de dados com intensidade do sinal e o perfil de consumo para diversas aplicações.

- Cobertura de rede no quesito intensidade do sinal.
- Cobertura de rede no quesito consumo de dados.
- Cobertura de rede para voz sobre LTE.
- Detecção de regiões com possíveis falhas na rede.

1.4 Estrutura da Dissertação

O Capítulo 2 traz os conceitos básicos necessários para entendimento e execução deste projeto. Será discorrido sobre o modelo de comunicação celular e algumas de suas características importantes que serão estudadas no trabalho, sobre a regulação da ANATEL e os indicadores utilizados atualmente para auferir qualidade, os estudos atuais e referências para a utilização de celulares no âmbito proposto neste trabalho e por último uma breve descrição sobre os modelos de propagação do sinal comumente utilizados no planejamento de rede.

O Capítulo 3 discorre acerca da plataforma desenvolvida. Trata-se do funcionamento do sistema, descrevendo as componentes do aplicativo desenvolvido, da metodologia de coleta de dados, dos diferentes dados que podem ser coletados do aplicativo, da funcionalidade exercida pelos servidores e das características gerais do projeto.

O Capítulo 4 apresenta alguns estudos elaborados para exemplificar os dados obtidos e algumas de suas implicações na rede. São discutidos resultados a nível individual de usuário e também a nível geral da rede.

Por fim, o Capítulo 5 apresenta as conclusões do presente trabalho e sugere possíveis trabalhos futuros.

Capítulo 2

Conceitos Básicos

2.1 Modelo de comunicação celular

O modelo de comunicação celular pode ser resumido como um ou mais aparelhos móveis que se conectam à célula de uma determinada ERB (Estação Rádio Base) para que consigam trafegar informação entre si ou com a rede. A ilustração desse modelo está contida na Figura 2.1. A definição de qual célula o celular irá se conectar se baseia não somente na melhor potência percebida de diferentes células, mas em inúmeros outros fatores que o dispositivo móvel e a rede permanecem constantemente analisando.

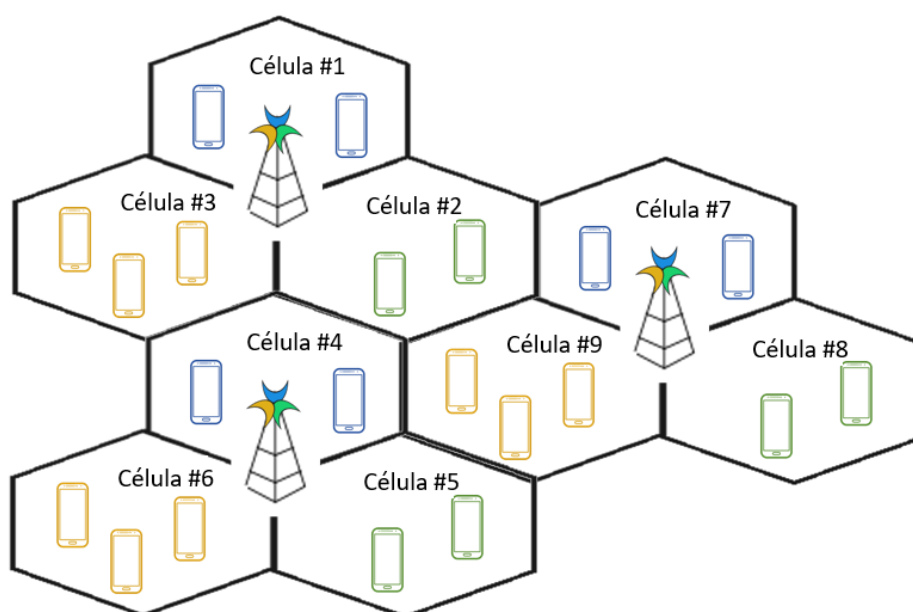


Figura 2.1: Modelo de comunicação celular.

Ao longo dos anos o sistema de comunicação celular utilizou diferentes tecnologias para sua operação, popularmente e tecnicamente dividindo-se em gerações. A primeira geração (denominada 1G) compreendia apenas o serviço de voz, seu sistema era analógico baseado na tecnologia AMPS

(do inglês *Advanced Mobile Phone Service*) desenvolvida no início dos anos 80. A segunda geração (2G) já possuía sistema com codificação digital baseado na tecnologia GSM (do inglês *Global System for Mobile Communication*), o que aprimorou a qualidade da voz, permitiu criptografia e facilitou a comunicação de dados, ou seja, foi possível navegar na internet mas com baixas taxas de dados (20 a 50 kbits). Evidenciando a crescente demanda por dados, a terceira geração (ou as chamadas redes 3G) se baseia nas tecnologias *UMTS*, *HSPA* e *HSPA+* para prover os serviços de voz e dados, com taxas teóricas máximas de 2, 14,4 e 42 Mbps, respectivamente.

Ao longo dos anos a telefonia móvel apresentou um crescimento notável, acompanhada do surgimento de smartphones e inúmeras aplicações que permitem acesso à informação de uma forma fácil e rápida, assim cresceu consideravelmente a demanda por dados em taxas superiores às oferecidas até à terceira geração. De forma a atender essa demanda por dados surgiu a quarta geração (4G), baseada nas tecnologia LTE (do inglês *Long Term Evolution*) e LTE-Advanced cujos sistemas incluem novas capacidades, maior número de serviços suportados pelas redes e altas taxas de dados, sendo os alvos de 100 Mbps de taxa no enlace direto em movimento (carro) e 1 Gbps em situação estacionária.

Apesar do foco do 4G ser o tráfego de dados e o LTE ter sido concebido para esse propósito, a tecnologia permite o tráfego de voz (chamado de VOLTE, do inglês *voice over LTE*). Inicialmente no Brasil o LTE operava em frequências superiores na banda de 2,5 GHz, com o comprimento de onda reduzido para esta faixa de frequência, o alcance da cobertura é limitado e sujeita o sinal a mais obstáculos na propagação, pois não consegue penetrar ambientes internos. Nesse contexto, para evitar quedas ou instabilidades nas ligações, os dispositivos móveis e a rede da operadora alteram a conexão para a rede 3G nos momentos das ligações. Atualmente, devido ao fato do LTE poder operar na faixa de 700 MHz após a digitalização da TV, há mais estabilidade em ambientes internos e maior cobertura por célula, o que possibilita a ativação do padrão VOLTE em algumas localizações.

Outro aspecto importante do LTE são os PCIs (do inglês *Physical Cell ID*), o PCI é um dos identificadores mais importantes da célula na rede sem fio do sistema LTE. Assim, planejar os identificadores das células é uma das etapas mais importantes do planejamento e da construção de redes LTE pois colabora para a eliminação de conflitos e colisões. Se o PCI não for bem planejado, causará alta interrupção do sinal de referência e essa situação pode resultar em uma falta na cobertura [4]. Esses identificadores, em redes LTE, fornecem um valor exclusivo para identificação de cada célula das estações. O valor PCI é criado a partir de dois componentes - PSS e SSS. O PSS, Sinal de Sincronização Primário, tem o valor 0, 1 ou 2. O SSS, Sinal de Sincronização Secundário, pode ter um valor entre 0 e 167. O valor PCI é $[(3 \times \text{SSS}) + (\text{PSS})]$, resultando em um valor entre 0 e 503. Com esses 504 valores, os PCIs são utilizados e reutilizados na rede para identificar células, evitando utilizar mesmos valores para células em localizações próximas.

Por fim, o RFC (do inglês *radio frequency channel*) corresponde ao código que identifica o canal de comunicação e traz consigo algumas informações físicas desse canal como banda de frequência, frequências dos enlaces de subida e descida, largura de banda, área geográfica, entre outros. Cada tecnologia possui sua lista de RFCs e, para o caso do LTE, há 65 códigos atualmente, com alguns

dos mais comuns ilustrados na Figura 2.2 [5].

Band	Name	Downlink (MHz)			Bandwidth DL/UL (MHz)	Uplink (MHz)			Duplex spacing (MHz)	Geographical area
		Low	Middle	High		Low	Middle	High		
		Earfcn				Earfcn				
73	450 APAC	460 68986	462.5 69011	465 69035	5	450 133522	452.5 133547	455 133571	10	APAC
72	450 PMR/PAMR	461 68936	463.5 68961	466 68985	5	451 133472	453.5 133497	456 133521	10	EMEA
31	450	462.5 9870	465 9895	467.5 9919	5	452.5 27760	455 27785	457.5 27809	10	Global
71	600	617 68586	634.5 68761	652 68935	35	663 133122	680.5 133297	698 133471	-46	NAR
29	700 d	717 9660	722.5 9715	728 9769	11	Downlink only				NAR
85	700 a+	728 70366	737 70456	746 70545	18	698 134002	707 134092	716 134181	30	NAR
12	700 a	729 5010	737.5 5095	746 5179	17	699 23010	707.5 23095	716 23179	30	NAR
17	700 b	734 5730	740 5790	746 5849	12	704 23730	710 23790	716 23849	30	NAR
67	700 EU	738 67336	748 67436	758 67535	20	Downlink only				EMEA
13	700 c	746 5180	751 5230	756 5279	10	777 23180	782 23230	787 23279	-31	NAR
68	700 ME	753 67536	768 67686	783 67835	30	698 132672	713 132822	728 132971	55	EMEA
14	700 PS	758 5280	763 5330	768 5379	10	788 23280	793 23330	798 23379	-30	NAR
28	700 APT	758 9210	780.5 9435	803 9659	45	703 27210	725.5 27435	748 27659	55	APAC,EU
20	800 DD	791 6150	806 6300	821 6449	30	832 24150	847 24300	862 24449	-41	EMEA
27	800 SMR	852 9040	860.5 9125	869 9209	17	807 27040	815.5 27125	824 27209	45	NAR
26	850+	859 8690	876.5 8865	894 9039	35	814 26690	831.5 26865	849 27039	45	NAR
18	800 Lower	860 5850	867.5 5925	875 5999	15	815 23850	822.5 23925	830 23999	45	Japan
5	850	869 2400	881.5 2525	894 2649	25	824 20400	836.5 20525	849 20649	45	NAR
6	UMTS only	875 2650	880 2700	885 2749	10	830 20650	835 20700	840 20749	45	APAC
19	800 Upper	875 6000	882.5 6075	890 6149	15	830 24000	837.5 24075	845 24149	45	Japan
8	900 GSM	925 3450	942.5 3625	960 3799	35	880 21450	897.5 21625	915 21799	45	Global
76	DL 1500-	1427 70316	1429.5 70341	1432 70365	5	Downlink only				NAR
75	DL 1500+	1432 69466	1474.5 69891	1517 70315	85	Downlink only				NAR
32	1500 L-band	1452 9920	1474 10140	1496 10359	44	Downlink only				EMEA
74	L-band	1475 69036	1496.5 69251	1518 69465	43	1427 133572	1448.5 133787	1470 134001	48	NAR
11	1500 Lower	1475.9 4750	1485.9 4850	1495.9 4949	20	1427.9 22750	1437.9 22850	1447.9 22949	48	Japan
21	1500 Upper	1495.9 6450	1503.4 6525	1510.9 6599	15	1447.9 24450	1455.4 24525	1462.9 24599	48	Japan
24	1600 L-band	1525 7700	1542 7870	1559 8039	34	1626.5 25700	1643.5 25870	1660.5 26039	-101.5	NAR
3	1800+	1805 1200	1842.5 1575	1880 1949	75	1710 19200	1747.5 19575	1785 19949	95	Global
9	1800	1844.9 3800	1862.4 3975	1879.9 4149	35	1749.9 21800	1767.4 21975	1784.9 22149	95	APAC
2	1900 PCS	1930 600	1960 900	1990 1199	60	1850 18600	1880 18900	1910 19199	80	NAR
25	1900+	1930 8040	1962.5 8365	1995 8689	65	1850 26040	1882.5 26365	1915 26689	80	NAR
70	AWS-4	1995 68336	2007.5 68461	2020 68585	25 / 15	1695 132972	1702.5 133047	1710 133121	300	NAR
1	2100	2110 0	2140 300	2170 599	60	1920 18000	1950 18300	1980 18599	190	Global
4	AWS-1	2110 1950	2132.5 2175	2155 2399	45	1710 19950	1732.5 20175	1755 20399	400	NAR
10	AWS-1+	2110 4150	2140 4450	2170 4749	60	1710 22150	1740 22450	1770 22749	400	NAR
65	2100+	2110 65536	2155 65986	2200 66435	90	1920 131072	1965 131522	2010 131971	190	Global
66	AWS-3	2110 66436	2155 66886	2200 67335	90 / 70	1710 131972	1745 132322	1780 132671	400	NAR
23	2000 S-band	2180 7500	2190 7600	2200 7699	20	2000 25500	2010 25600	2020 25699	180	NAR
30	2300 WCS	2350 9770	2355 9820	2360 9869	10	2305 27660	2310 27710	2315 27759	45	NAR
69	DL 2500	2570 67836	2595 68086	2620 68335	50	Downlink only				
7	2600	2620 2750	2655 3100	2690 3449	70	2500 20750	2535 21100	2570 21449	120	EMEA
22	3500	3510 6600	3550 7000	3590 7399	80	3410 24600	3450 25000	3490 25399	100	EMEA
252	Unlicensed NII-1	5150 255144	5200 255644	5250 256143	100	Downlink only				Global
255	Unlicensed NII-3	5725 260894	5787.5 261519	5850 262143	125	Downlink only				Global

Figura 2.2: Código de canal de rádio frequência (RFC) para LTE.

2.2 Qualidade do Serviço Móvel Pessoal e sua Regulação

Com a crescente demanda por serviços de comunicação móvel, os consumidores tem se atentado para aspectos de qualidade e atualmente no Brasil o setor de telecomunicações é um dos que mais recebe reclamações no órgão regulador (ANATEL) e nos órgãos de defesa do consumidor. A ANATEL define 14 indicadores de qualidade no Regulamento de Gestão da Qualidade (RGQ-SMP) aprovado pela Resolução nº 575/2011 [6], os quais monitora como forma de estimular o aprimoramento dos serviços prestados pelas operadoras. Cada indicador possui uma meta associada que corresponde ao desempenho mínimo estabelecido para a adequada qualidade do serviço em cada área geográfica definida na regulamentação.

Este regulamento estabelece além dos indicadores, as metas de qualidade, os critérios de avaliação, os métodos de coleta e demais requisitos de qualidade que foram definidos em conformidade com a legislação e após consulta pública à sociedade. Os resultados são obtidos pelas próprias Prestadoras de SMP (Serviço Móvel Pessoal) e assim estes serão enviados à ANATEL, que por sua vez dará publicidade aos dados por meio de sistema interativo disponível em sua página na Internet. Para validar os indicadores apresentados, as operadoras devem certificar seus métodos de coleta, consolidação e envio dos indicadores de qualidade do SMP, previstos neste Regulamento, junto a um Organismo de Certificação Credenciado (OCC).

Antes de apresentar os indicadores estabelecidos, a resolução define alguns conceitos. Dentre eles é válido destacar:

- Chamada: conexão do SMP utilizada para comunicação por voz em que há alocação de canal de voz;
- Chamada Estabelecida: chamada originada, em que foi efetuada a ligação entre a Estação Móvel e outra estação de telecomunicações;
- Chamada Completada: chamada estabelecida, em que houve atendimento e comunicação;
- Conexão de Dados: qualquer conexão do SMP que não se confunda com Chamada ou com Mensagem de Texto;
- Taxa de Transmissão: capacidade de transmissão das Conexões de Dados, expressa em bits por segundo (bps);
- Taxa de Transmissão Instantânea: mediana dos valores de Taxa de Transmissão das amostras coletadas em cada medição;
- Taxa de Transmissão Média: média aritmética simples dos resultados das medições de Taxa de Transmissão Instantânea.

Os 14 indicadores de qualidade contidos no Regulamento de Gestão da Qualidade são apresentados a seguir. Os dois primeiros são indicadores de reação do usuário, do terceiro ao sétimo são indicadores de rede, do oitavo ao décimo primeiro são indicadores de conexão de dados e os demais são indicadores de atendimento.

O primeiro indicador (SMP1), Taxa de Reclamações, determina que a relação entre o número total de reclamações recebidas na prestadora, em todos os seus canais de atendimento, e o número total de Acessos em Operação, no mês, não deve ser superior a 1% (um por cento). Sua representação matemática é dada por:

$$SMP1 = \frac{A}{B} \times 100 \quad , \quad (2.1)$$

em que B corresponde ao número total de acessos em operação na rede da prestadora no último dia do mês e A ao número total de reclamações, no mês, junto à prestadora de SMP. Essas reclamações podem ser relativas a cobrança, atendimento, promoções, cancelamento, conexão, queda e taxa de transmissão de dados e outras reclamações.

O SMP2, Taxa de Reclamações na Anatel, possui a meta de que a relação entre o número total de reclamações recebidas na Anatel, em desfavor da prestadora, e o número total de reclamações recebidas em todos os canais de atendimento da prestadora, no mês, não deve ser superior a 2% (dois por cento). Sua representação matemática segue a Equação 2.1 mas, neste caso, B corresponde ao número total de reclamações, no mês, junto à Prestadora de SMP e A ao número total de reclamações, no mês, junto à Anatel, em desfavor da Prestadora de SMP. Essas reclamações podem ser relativas a cobrança, atendimento, promoções, cancelamento, conexão, queda e taxa de transmissão de dados e outras reclamações.

A Taxa de Completamento de Chamadas para o Centro de Atendimento Telefônico, SMP3, determina que as chamadas originadas na rede da prestadora e destinadas ao seu Centro de Atendimento Telefônico devem ser completadas, em cada PMM, no mês, no mínimo em 95% (noventa e cinco por cento) dos casos (Redação dada pela Resolução nº 632, de 7 de março de 2014). Nestes casos, o completamento deve se dar imediatamente após o estabelecimento da chamada e o usuário deve ter acesso imediato ao Sistema de Autoatendimento ou telefonista/atendente. Sua representação matemática segue a Equação 2.1. A , neste caso, corresponde ao número total de chamadas originadas na rede da prestadora para os Centros de Atendimento, atendidas por Sistemas de Autoatendimento ou pelas telefonistas/atendentes, em cada PMM, no mês. B , por sua vez, representa o número total de tentativas de originar chamadas na rede da prestadora para os Centros de Atendimento, contadas a partir da alocação do canal de voz, em cada PMM, no mês.

O quarto indicador (SMP4), Taxa de Completamento, determina que as tentativas de originar chamadas devem ser completadas, em cada PMM, no mês, no mínimo em 67% (sessenta e sete por cento) dos casos. Devem ser consideradas as tentativas de originar chamadas para Código de Acesso associado tanto à Área de Registro do usuário quanto para fora desta. Sua representação matemática segue a Equação 2.1, onde A representa número total de chamadas originadas completadas, em cada PMM, no mês e B o número total de tentativas de originar chamadas, contadas a partir da alocação do canal de voz, em cada PMM, no mês. Ressalta-se que devem ser consideradas como chamadas completadas aquelas chamadas originadas em que houve atendimento e comunicação; para efeito de cálculo deste indicador devem ser consideradas como chamadas completadas as chamadas reencaminhadas para o correio de voz em que o usuário chamador efetivamente deixou uma mensagem e as chamadas interceptadas com mensagens de orientação aos usuários não são, para efeito de cálculo deste indicador, consideradas completadas.

O SMP5, Taxa de Alocação de Canal de Tráfego, possui a meta associada de que as tentativas de alocação de canal de tráfego devem ser concluídas com sucesso, em cada PMM, no mês, no mínimo em 95% (noventa e cinco por cento) dos casos. Sua representação matemática é dada por:

$$SMP5 = \frac{C}{D} \times \frac{E}{F} \times 100 \quad , \quad (2.2)$$

em que C corresponde ao total de acessos ao canal de sinalização e controle para estabelecer uma chamada, em cada PMM, no mês; D ao total de tentativas de acessar o canal de sinalização e controle, em cada PMM, no mês; E ao total de acessos ao canal de tráfego para estabelecer uma chamada, em cada PMM, no mês e F ao total de tentativas de acessar o canal de tráfego, em cada PMM, no mês.

A Taxa de Entrega de Mensagem de Texto, SMP6, determina que todas as tentativas de envio de Mensagens de Texto devem resultar em entrega ao usuário final em até 60 (sessenta) segundos no mínimo em 95% (noventa e cinco por cento) dos casos, no mês. Sua representação matemática segue a Equação 2.1. Neste caso, C representa número total de Mensagens de Texto enviadas a partir da rede da prestadora e entregues ao usuário em até 60 (sessenta) segundos, no mês e D o número total de tentativas de envio de Mensagens de Texto na rede da prestadora, no mês.

O sétimo indicador (SMP7), Taxa de Queda de Ligações, possui a meta associada de que a quantidade de chamadas interrompidas por queda da ligação na rede da prestadora, em cada PMM, no mês, deve ser inferior a 2% (dois por cento). Sua representação matemática segue a Equação 2.1 e, neste caso, A corresponde ao número total de chamadas interrompidas por queda de ligação, em cada PMM, no mês e B ao número total de chamadas completadas, em cada PMM, no mês.

O SMP8, Taxa de Conexão de Dados, define que as tentativas de conexão destinadas a Conexão de Dados utilizando a rede do SMP, no PMT, devem ser estabelecidas em 98% (noventa e oito por cento) dos casos, no mês. Sua representação matemática segue a Equação 2.1, onde A representa o número total de tentativas de conexão destinadas a Conexões de Dados estabelecidas, em cada PMT, no mês; e B representa o número total de tentativas de conexão destinadas a Conexões de Dados, em cada PMT, no mês. Vale ressaltar que considera-se uma tentativa de conexão destinada a Conexões de Dados estabelecida quando o processo de autenticação e autorização da Estação Móvel à rede de dados for concluído com resultado positivo.

A Taxa de Queda das Conexões de Dados, SMP9, possui a meta associada de que a taxa de queda das Conexões de Dados utilizando a rede do SMP da prestadora, no PMT, deve ser inferior a 5% (cinco por cento), no mês. Sua representação matemática segue a Equação 2.1, sendo A o número total de quedas das Conexões de Dados, em cada PMT, no mês; e B o número total de tentativas de conexão destinadas a Conexões de Dados estabelecidas, em cada PMT, no mês. Considera-se uma tentativa de conexão destinada a Conexões de Dados estabelecida quando o processo de autenticação e autorização da Estação Móvel à rede de dados for concluído com resultado positivo.

O décimo indicador (SMP10), Taxa de Transmissão Instantânea Contratada, possui representação matemática que segue a 2.1, em que A corresponde número de medições em que o resultado final da medição, obtido de acordo com metodologia definida pela ANATEL, foi igual ou superior

ao percentual da taxa de transmissão máxima contratada determinado no caput, em cada PMT, no mês; e B ao número total de medições obtidas de acordo com metodologia definida pela ANATEL, em cada PMT, no mês. A meta associada a esse indicador é a de que durante o PMT, a Prestadora deve garantir uma Taxa de Transmissão Instantânea na Conexão de Dados, tanto no *download* quanto no *upload*, em noventa e cinco por cento dos casos, de, no mínimo:

- I - vinte por cento da taxa de transmissão máxima contratada pelo Usuário, nos doze primeiros meses de exigibilidade das metas, conforme estabelecido no art. 55 do Regulamento em questão;
- II - trinta por cento da taxa de transmissão máxima contratada pelo Usuário, nos doze meses seguintes ao período estabelecido no regulamento; e
- III - quarenta por cento da taxa de transmissão máxima contratada pelo Assinante, a partir do término do período estabelecido no regulamento.

O SMP11, Taxa de Transmissão Média Contratada, possui a meta de que a prestadora deve garantir uma Taxa de Transmissão Média nas Conexões de Dados, no PMT, tanto no *download* quanto no *upload*, de, no mínimo:

- I - 60% (sessenta por cento) da taxa de transmissão máxima contratada nos doze primeiros meses de exigibilidade das metas, conforme art. 55 do Regulamento em questão;
- II - 70% (setenta por cento) da taxa de transmissão máxima contratada nos doze meses seguintes ao período estabelecido no regulamento; e
- III - 80% (oitenta por cento) da taxa de transmissão máxima contratada a partir do término do período estabelecido no regulamento.

Sua representação matemática é dada por

$$SMP11 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad , \quad (2.3)$$

em que x corresponde ao valor de cada medição de Taxa de Transmissão Instantânea, em percentual da taxa de transmissão máxima contratada, em cada PMT, no mês; e n ao número total de medidas de Taxa de Transmissão Instantânea, obtidas de acordo com o art. 22, em cada PMT, no mês.

A Taxa de Atendimento pela Telefonista/Atendente em Sistemas de Auto-Atendimento, SMP12, mensura a meta de que o tempo para o atendimento pela telefonista/atendente em sistemas de autoatendimento, quando esta opção for selecionada pelo usuário, deve ser de até 20 (vinte) segundos, no mês, no mínimo em 90% (noventa por cento) dos casos. Vale ressaltar que em nenhum caso, o atendimento deve se dar em mais de 60 (sessenta) segundos e a opção de acesso à telefonista/atendente deve estar sempre disponível ao usuário em todos os níveis do sistema de auto-atendimento. Sua representação matemática segue a Equação 2.1, em que A corresponde ao número total de chamadas atendidas pelas telefonistas/atendentes em até 20 (vinte) segundos nos Sistemas de Autoatendimento da prestadora, quando esta opção for selecionada pelo usuário, no mês; e B ao

número total de tentativas de acesso às telefonistas/atendentes nos Sistemas de Autoatendimento da prestadora, quando esta opção for selecionada pelo usuário, no mês.

O penúltimo indicador (SMP13), Taxa de Resposta ao Usuário, define que todas as solicitações de serviços ou pedidos de informação recebidos em qualquer dos canais de atendimento da prestadora, e que não possam ser respondidos ou efetivados de imediato, devem ser respondidos em até 5 (cinco) dias úteis, em 95% (noventa e cinco por cento) dos casos, no mês (Redação dada pela Resolução nº 632, de 7 de março de 2014). Vale ressaltar que em nenhum caso, a resposta deve se dar em mais de 10 (dez) dias úteis e as reclamações de usuários não devem ser computadas no cálculo deste indicador. Sua representação matemática é dada por

$$SMP13 = \frac{G}{H + I} \times 100 \quad , \quad (2.4)$$

em que G representa o número total de solicitações de serviços ou pedidos de informação recebidos pela prestadora, respondidos em até 5 (cinco) dias úteis, no mês; H representa o número total de solicitações de serviços ou pedidos de informação, recebidos pela prestadora no respectivo mês; e I o número total de solicitações de serviços ou pedidos de informação, relativos aos meses anteriores, ainda não respondidos ao usuário.

Por fim, o SMP14, Taxa de Atendimento Pessoal ao Usuário, determina que o usuário, ao comparecer a qualquer Setor de Atendimento Presencial, deve ser atendido em até 30 (trinta) minutos, em 95% (noventa e cinco por cento) dos casos, no mês (Redação dada pela Resolução nº 632, de 7 de março de 2014). Sua representação matemática segue a Equação 2.1 e, nesse caso, A corresponde ao somatório do número de usuários que compareceram a todos os Setores de Atendimento Presencial e que foram atendidos em até 30 (trinta) minutos, no mês (Redação dada pela Resolução nº 632, de 7 de março de 2014); e B ao somatório do número de usuários que compareceram a todos os Setores de Atendimento Presencial no mês (Redação dada pela Resolução nº 632, de 7 de março de 2014).

Outra determinação interessante da resolução é que a prestadora deve fornecer a seus Usuários e à Anatel *software* para medição da(s) Taxa(s) de Transmissão Instantânea(s), tanto de *download* quanto de *upload*, de sua conexão, devendo estar disponível de forma gratuita e em local de fácil visualização na página da Prestadora na Internet. A medição deve ser realizada do ponto de vista do Usuário do SMP e a partir de sua Estação Móvel até o PTT, conforme definição do Grupo a que se refere a Seção I do Capítulo XI.

De acordo com os dados obtidos pela agência, o percentual de cumprimento de metas do serviço alcançou 69,8% em 2017. Esse resultado representa um pequeno aumento do verificado nos anos de 2013 (68,8%), 2014 (68,8%), 2015 (68,5%) e 2016 (69,6%). Os indicadores com menor percentual de cumprimento de metas ao longo do ano de 2017 foram o SMP4 - Taxa de completamento de chamadas (4,2%), o SMP12 - Taxa de atendimento pelo atendente em autoatendimento (27,5%) e o SMP1 - Taxa de Reclamações (42,4%), conforme ilustrado na Figura 2.3, retirado de [8].

A ANATEL tem buscado recentes melhorias no processo de qualidade das redes móveis. A Consulta Pública Nº 29, aberto ao público em geral para submeter comentários e sugestões sobre a proposta do Regulamento de Qualidade dos Serviços de Telecomunicações - RQUAL, é um

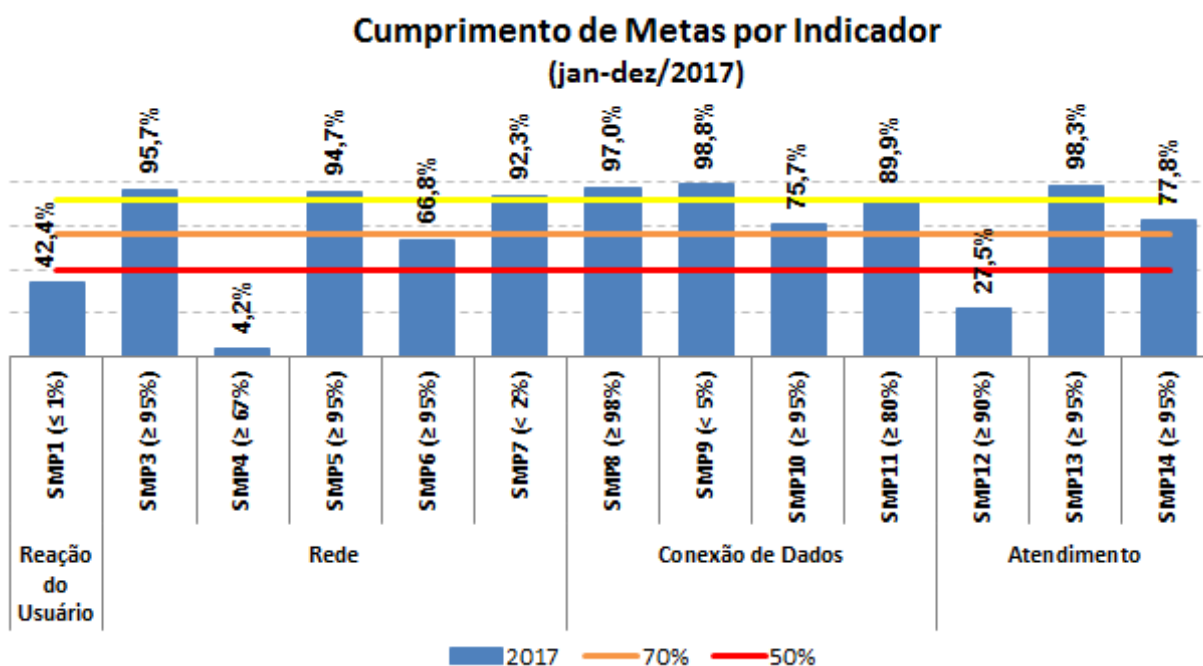


Figura 2.3: Cumprimento de Metas da Resolução n° 575/2011, Anatel [8].

dos temas mais discutidos na área. Nas palavras da agência reguladora, "O projeto visa criar mecanismos para estímulo à promoção da qualidade da prestação do serviço alinhada às expectativas da sociedade, por meio de uma reavaliação da regulamentação e da coordenação das ações dos diversos atores. Deve haver uma mudança de foco para o acompanhamento de alguns indicadores estratégicos a fim de atingir o padrão de qualidade desejável e que seja considerado, entre outros, aspectos como a percepção dos usuários e a competição." [7].

Em apresentação sobre esse assunto ao público, a ANATEL ressaltou, dentre algumas outras, as seguintes fragilidades do atual modelo:

- A comunicação com o consumidor final, seja por granularidade, atualidade de indicadores, ausência de conclusões;
- A ausência de integração de ações (pesquisa de satisfação, reclamações e indicadores);
- A granularidade e periodicidade dos indicadores;
- A quantidade, atualidade e focos dos indicadores;
- O processo de coleta e cálculo;
- A entidade aferidora da qualidade;
- Ausência de melhores definições para interrupções.

Os pontos levantados pela instituição demonstram a dificuldade de objetificar qualidade em indicadores técnicos e simplificar a forma de coleta e cálculo, de uma forma que represente de forma sincera a percepção do usuário.

A proposta deste trabalho contempla uma ferramenta para simplificar este projeto e traz a tona indicadores que podem ser usados para complementar a base de informações da Anatel. Por exemplo, o indicador SMP4, que representa a taxa de completamento de chamadas, pode ser melhorado caso seja encontrado um padrão de ocorrência desses erros, como por exemplo regiões de sombra de sinal ou até mesmo deslocamentos por parte do usuário.

2.3 O uso de celulares para medição de qualidade

Para que as operadoras possam gerenciar suas redes, solucionar falhas e aumentar a qualidade do serviço prestado (principalmente garantir boas taxas de tráfego de dados), elas precisam analisar informações e indicadores de desempenho. Dentre esses pode-se destacar, por exemplo, taxa instantânea de dados no canal de *download* e *upload*, latência, intensidade de sinal recebido, movimentação e rota do usuário, obstrução por prédios e/ou vegetação, *handoff* entre ERB's, além dos indicadores estabelecidos pela ANATEL e tratados anteriormente.

O levantamento prático dessas informações e indicadores pode ser obtido de duas formas distintas. A primeira é por meio de medições de campo controladas com equipamentos específicos para esse fim e equipe profissionalizada. Para isso são alocados recursos da empresa, o que não incentiva e até impede que a operadora realize esses testes em mais regiões e consequentemente identifique efetivamente as principais falhas que prejudiquem a experiência dos usuários. A própria ANATEL levanta que a obtenção dos dados e indicadores é uma das maiores dificuldades no processo de análise de qualidade. Ao invés de utilizar equipamentos específicos em medições pré agendadas e dedicadas apenas ao levantamento de indicadores, é possível obter as informações por meio de aplicativos instalados nos aparelhos celulares dos próprios usuários dos serviços móveis. Essa medições são feitas constantemente nos aparelhos que estão em diferentes localizações e seus resultados são enviados a servidores remotos para processamento dos dados [15]. Dessa forma os testes podem ser feitos de forma contínua e seus resultados abrangem uma área geográfica maior, momentos diferentes e aparelhos distintos. Exemplo dessa segunda forma de medição já foram apresentados em trabalhos anteriores apresentados de [11] a [18].

Como mencionado anteriormente, já existem trabalhos na linha de proporcionar métodos e meios mais eficientes e abrangentes para aferir qualidade da rede celular. Além de [2] e [3], em [15] há propostas de sistemas que realizam testes de desempenho da rede de forma colaborativa, e alguns deles permitem ainda a personalização por parte de pesquisadores e usuários. A solução de utilizar o celular do próprio usuário para realização das medições é promissora e não compromete a precisão dos dados, como foi constatado em [3], o aplicativo é capaz de medir e apresentar informações sobre a qualidade das redes celulares com acurácia surpreendentemente similar a dos aparelhos específicos para tal finalidade. Além disso, por meio do celular é possível aferir geolocalização e velocidade de deslocamento do dispositivo com precisão significativa.

Outro aspecto positivo da utilização dos aparelhos móveis como instrumentos de medição é a possibilidade de se tornar uma plataforma *crowdsourcing*, que fornece a capacidade de coletar rapidamente *feedback* sobre a qualidade do canal sem fio percebida pelo usuário com níveis densos de

penetração e abrangência usando *smartphones* dos clientes [18]. O termo *crowdsourcing* pode ser entendido como a terceirização de um trabalho, tradicionalmente realizado por um único responsável, para um grupo indefinido, geralmente grande de pessoas/dispositivos, onde cada indivíduo colabora com uma pequena parte para gerar um resultado maior.

Na mesma linha, as operadoras estão desenvolvendo aplicativos inteligentes, *firmwares* e esforços de padronização para configurar um modelo mais abrangente de levantamento de informações acerca do estado do canal percebido pelo equipamento do usuário (UE) [18]. Além disso, o *release 10* do LTE (3GPP TS 37.320) desenvolveu a especificação de *Minimization of Drive Test* (MDT) para monitorar os *Key Performance Indicators* (KPIs) por meio de *crowdsourcing* [18].

Devido a esses aspectos foram desencadeados uma série de trabalhos em que o modelo de *crowdsourcing* foi utilizado para identificar topologia de rede [20], executar adaptação da rede em tempo real [21], caracterizar o tráfego na Internet [22], detectar eventos de rede [23], impressão digital e georreferenciamento de locais físicos [24], avaliar a qualidade da experiência do usuário [25], estudar neutralidade da rede [26], avaliar o desempenho da rede sem fio em área ampla [27], e obter KPIs referentes à largura de banda, latência e taxa de transferência por meio de *crowdsourcing* (*crowdsourced KPIs*) [28].

2.4 Propagação do sinal e desvanecimentos

Um sinal pode percorrer múltiplos percursos em canais de rádio devido a mecanismos de propagação como difração, reflexão, refração espalhamento. Isso faz com que o sinal recebido se comporte como um processo aleatório, tornando a modelagem e a caracterização do canal uma das partes mais difíceis dos projetos de sistemas sem fio. Para garantir que o sinal chegue no receptor com uma taxa mínima desejada de erro, uma certa relação sinal-ruído deve ser garantida. A potência do sinal recebido no receptor é variada com o tempo, com aspectos geográficos, com a frequência do sinal e outras características do meio. Para melhor caracterizar o canal, o sinal é visto como uma combinação dos efeitos de pequena e de larga escala. A Figura 2.4 apresenta as três componentes do sinal em propagação.

As características de perda de percurso e sombreamento ou desvanecimento lento fazem parte da componente de larga escala, caracterizada por distâncias grandes e variações lentas. Por outro lado, a componente em pequena escala é dada por flutuações rápidas e aleatórias de amplitude e fases do sinal de rádio, chamada de desvanecimento rápido.

Por meio de dispositivos móveis, é possível utilizar medições individuais e sequenciais de cada usuário do sistema como forma preliminar de estimar e caracterizar o canal rádio-móvel. Por mais que estudos apontem que as diferenças nas medições realizadas entre diferentes aparelhos seja um empecilho para a estimação exata da perda de percurso do ambiente [18], a análise dos processos de sombreamento independe dessa limitação, uma vez que eles são estimados após a retirada da estimativa individual de perda de percurso das medições de cada usuário [19].

Outro estudo recente mostrou que o erro quadrático médio da intensidade de sinal percebida

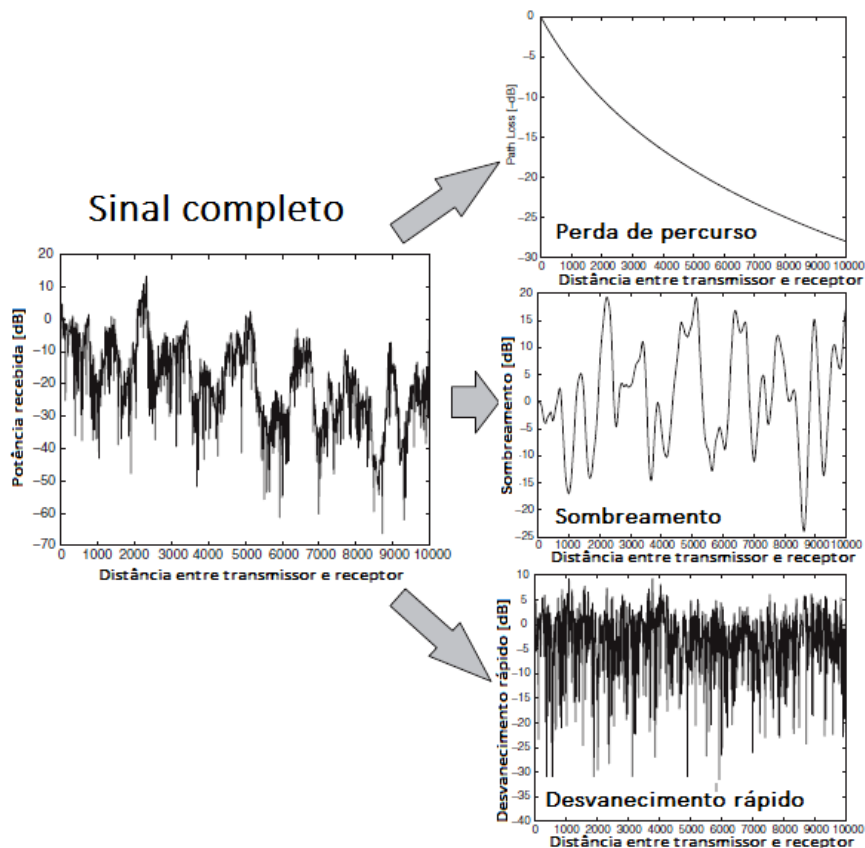


Figura 2.4: As três componentes do sinal em propagação [19].

por diferentes aparelhos executando diferentes softwares de medição variou entre 2 e 5 dB, o que deveria ser suficiente para estimar processos de sombreamento [3].

2.5 Conclusão

Neste capítulo foram apresentados o cenário atual de qualidade na perspectiva da ANATEL e o seu regulamento vigente, o uso de dispositivos móveis como uma ferramenta robusta para auferir medições de qualidade e por últimos alguns conceitos teóricos sobre propagação de sinal para fins de planejamento de rede.

Nas próximas seções, serão abordados aspectos técnicos do sistema desenvolvido e algumas validações experimentais realizadas pela ferramenta.

Capítulo 3

Arquitetura do sistema

O sistema de medição e análise descrito neste trabalho segue uma arquitetura cliente-servidor e, portanto, é composto por dois módulos principais: um aplicativo para *smartphones* baseado no sistema operacional *Android* para utilização por parte do cliente ou usuário de serviço móvel, chamado de módulo do cliente e um conjunto de servidores remotos responsáveis pelo *back-end* da aplicação. Ao longo deste e dos próximos capítulos, os integrantes do módulo de cliente são chamados de **clientes**, **usuários** ou **dispositivos** e o conjunto de servidores por simplesmente **servidor**.

Tendo em vista a necessidade de uma ferramenta escalável e compatível com a maioria dos dispositivos móveis, o sistema considera e implementa boas práticas de programação e se preocupa em entregar o mínimo de segurança. Por conter dados pessoais e sigilosos dos usuários da rede, a troca de informações entre cliente e servidor é feita por meio de um canal criptografado utilizando-se um modelo de arquitetura API (*Application Programming Interface*) REST (*Representational State Transfer*), apresentando robustez e escalabilidade. A Figura 3.1 apresenta um esquema básico da arquitetura REST-API, ressaltando que as aplicações para *Iphone* estão dentro das implementações a serem desenvolvidas e concluídas no projeto. Basicamente, uma API representa um conjunto de rotinas e padrões estabelecidos e documentados por uma aplicação para que outras aplicações consigam utilizar suas funcionalidades, permitindo uma interoperabilidade entre aplicações. Já o REST é uma abstração da arquitetura WEB (por meio dos métodos de HTTP) que consiste em princípios e regras para a criação de uma interface.

Por exemplo, no servidor podemos definir que qualquer requisição GET (HTTPS) no endereço `https://exemplo.com/points` significa que a aplicação está solicitando os pontos de medição já salvos no banco de dados. Analogamente, uma inserção de uma medição pode ser feita por meio de uma método POST (HTTPS) no endereço `https://exemplo.com/points`, com os campos adicionais no corpo da requisição. Essa forma de implementar permite uma grande diversidade e garante que qualquer dispositivo esteja apto a estabelecer conexão com servidor, basta utilizar os métodos estabelecidos no HTTP (GET, POST, DELETE, entre outros) e tenha acesso a documentação da API para implementar corretamente os métodos.

REST API Architecture

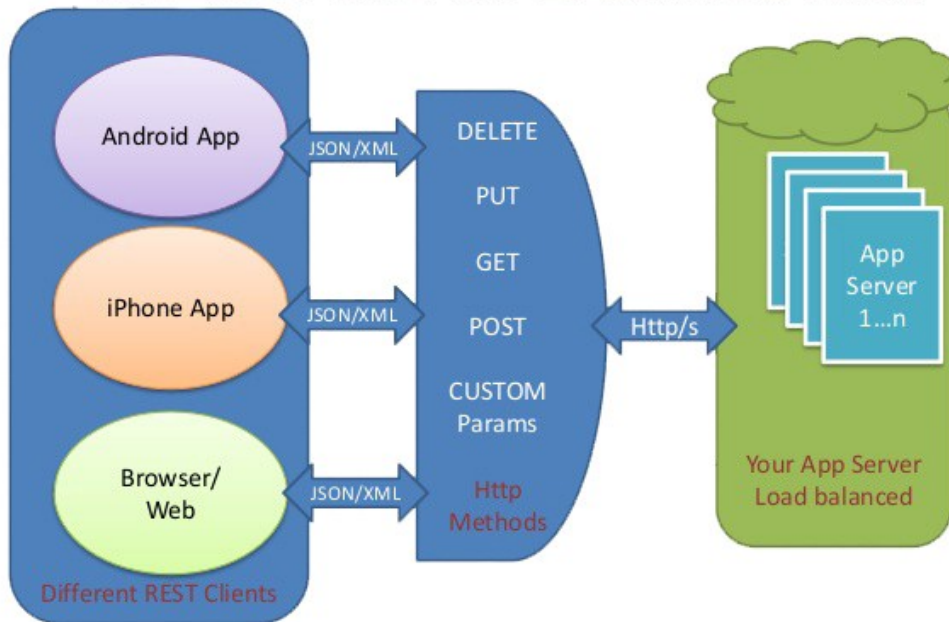


Figura 3.1: Modelo de arquitetura REST-API retirado de [29].

3.1 Componente Aplicativo - Usuário

Neste primeiro momento, a componente do usuário responsável pela coleta de dados está limitada a dispositivos com sistema operacional *Android*, devido principalmente à facilidade de obtenção dos dados necessários para a análise dos aspectos de qualidade.

Dessa forma, para estar adequado a sistemas operacionais *Android*, o aplicativo é baseado na linguagem de programação *Java*, e possui dois principais objetivos: coleta e envio de informações consideradas importantes, e visualização e apresentação dos dados processados pelo servidor.

A coleta e envio de informações ocorre em *background* e continuará funcionando desde que o aplicativo permaneça em execução. Portanto, não é preciso ficar com o aplicativo aberto em primeiro plano, basta que o usuário deixe o aplicativo em execução em segundo plano que este permanecerá coletando as informações de forma contínua.

3.1.1 Coleta de dados

Na primeira vez que o usuário acessa o aplicativo, como é de costume em aplicações que envolvem dados pessoais do usuário, são solicitadas as permissões para acesso aos dados fornecidos pelo aparelho celular, assim como os Termos de Uso e Termos de Privacidade utilizadas no aplicativo. Pelo modelo escolhido do sistema, caso as permissões requisitadas sejam negadas, o aplicativo não

libera o acesso ao usuário. Essa medida é utilizada para garantir que todos os dados coletados sejam válidos e representem de forma correta a percepção e experiência do ponto de vista do cliente. Quanto mais usuários e dispositivos diferentes colaborarem para a rede, mais precisos e coerentes serão os resultados gerados.

Como a experiência dos usuários é fundamental para o funcionamento do sistema, o aplicativo, seja em primeiro plano ou em *background*, não pode afetar o funcionamento normal do dispositivo móvel. Para isso, todas as decisões envolvidas no desenvolvimento do aplicativo foram feitas e otimizadas ao longo do tempo para tornar a aplicação leve, responsiva, rápida e para que esta não afete, de forma significativa, o uso da capacidade de processamento e o consumo de bateria do aparelho celular.

As medições são feitas em intervalos de tempo configurados dinamicamente pelo servidor e são salvas em um banco local no aplicativo. Posteriormente, após um segundo intervalo de tempo, também configurado dinamicamente, as informações são agrupadas em lotes e enviadas de uma vez para o servidor. Quando um dispositivo perde conectividade com a rede, a aplicação continua realizando medições e armazenando-as localmente. Eventualmente, quando a conectividade é reestabelecida, os dados armazenados são enviados ao servidor. Isso é fundamental para o sistema pois o torna capaz de obter informações da rede quando não há cobertura, diferenciando a falta de medições com da falta de cobertura do sinal.

Entre algumas implementações que colaboram para a otimização do aplicativo, destaca-se o fato que qualquer cálculo ou processamento de dados é feito exclusivamente no servidor, de modo que o aplicativo se responsabiliza por, exclusivamente, realizar medições, armazená-las no banco local, enviar ao servidor quando possível e exibir os dados já processados e disponibilizados pelo servidor.

Expondo alguns detalhes técnicos, o padrão de projeto escolhido foi o *single activity* [9], que consiste em criar apenas uma *activity* e utilizar *fragments* para alterar o conteúdo visualizado pelo usuário. Com esta forma de implementação, ganha-se no controle da execução, na redução do consumo de energia e no aumento da capacidade de processamento. Quanto ao banco de dados local, devido à grande quantidade de dados e de fluxo de informações com o servidor, preferiu-se empregar a biblioteca *Room* [9]. Esta biblioteca é responsável por criar uma camada de abstração sobre o *SQLite*, um banco de dados relacional leve utilizado para armazenamento local de dados. Com estas formas de implementação, após o amadurecimento das ideias e da confirmação prática frente a outros modelos, obteve-se uma aplicação leve, estável, manuseável e personalizável.

Ao iniciar o aplicativo pela primeira vez, o usuário deve se cadastrar preenchendo os campos disponibilizados para ser identificado e atrelar sua identificação a todas as medições feitas por meio de seu aparelho. Esse recurso permitirá não somente que o usuário visualize e acompanhe os seus dados enviados, mas também que análises acerca do perfil do usuário sejam estabelecida.

Em sua versão atual, o aplicativo é capaz de obter algumas dezenas de parâmetros que foram classificados como importantes e que possam ter alguma relação com a percepção de qualidade por parte do usuário. Esses parâmetros são obtidos para todos os pontos de medição realizados. A API padrão do Google para *Android* é a principal base computacional que forma o conjunto

sistêmico de coleta de dados [9]. Os principais parâmetros coletados são listados a seguir, divididos nas categorias dados gerais sobre o dispositivo, dados georreferenciais, dados da rede do dispositivo e dados das células de rede móvel.

Dados gerais sobre o dispositivo

- Modelo do dispositivo móvel;
- Nome popular do dispositivo móvel;
- Versão do *software* (*API*);
- Nível de bateria atual do dispositivo móvel;
- Número IMEI do aparelho ;
- Número de serial SIM;
- Número de telefone do usuário;
- Instante de medição (*timestamp*).

Dados georreferenciais

- Localização e sua precisão em coordenadas decimais (EPSG:4326);
- Altitude;
- Velocidade de deslocamento.

Dados de rede do dispositivo

- Tipo de conexão em uso [sem conexão, dados móveis, *Wi-Fi*, ...];
- Estado da ligação [ocioso (*idle*), em ligação (*offhook*), chamando (*ringing*), ...];
- Estado do tráfego de dados [desativado (*none*), entrada (*in*), saída (*out*), entrada e saída (*inout*), inativo (*dormant*)];
- Estado do serviço do aparelho [em serviço (*in service*), fora de serviço (*out of service*), apenas emergência (*emergency only*), ...];
- Estado da conexão de dados [conectado (*connected*), conectando (*connecting*), desconectado (*disconnected*), suspenso (*suspended*)];
- Número de telefone em ligação (discado ou recebido pelo usuário);
- Taxa de dados instantânea no canal de subida (*upload*);
- Taxa de dados instantânea no canal de descida (*download*).

Dados das células de rede móvel

- Nome da operadora e tecnologia em uso;
- Potência do sinal recebido da célula conectada;
- Código de identificação (*Cell id*) da célula conectada e das células vizinhas;

- Canal de rádio frequência - RFC (*Radio Frequency Channel*) da célula conectada e das células vizinhas;
- Código do país - MCC (*Mobile Country Code*) da célula conectada e das células vizinhas;
- Código de operadora - MNC (*Mobile Network Code*) da célula conectada e das células vizinhas;
- Código de área - TAC (*Tracking Area code*) e LAC (*Location Area Code*) da célula conectada e das células vizinhas;
- Código físico da célula - PCI (*Physical Cell Id*) da célula conectada e das células vizinhas.

Alguns dos parâmetros listados não estão sempre disponíveis, pois dependem do estado do celular e da tecnologia em uso. No geral, todas essas informações podem ser cruzadas e utilizadas para realização de análises e estudos.

3.1.2 Visualização dos dados

Os usuários do sistema possuem, atualmente, duas formas de visualizar os dados processados pelo servidor. A primeira, e mais comum, é via aplicativo instalado no *smartphone* do usuário e a segunda é via painel de controle hospedado em um servidor *web*.

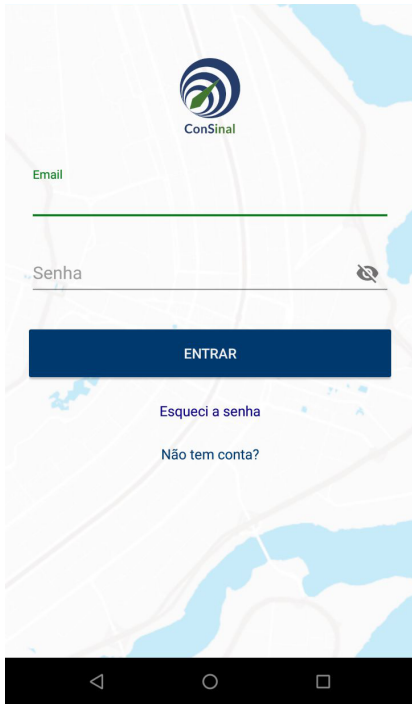
Pelos motivos citados na seção anterior, restringiu-se, até o momento, que os usuários que acessam via aplicativo sejam capazes de visualizar os dados referentes à cobertura celular e às informações gerais sobre a rede em sua região. Os restantes dos dados, que envolvem análises mais profundas e muitas vezes que não são de conhecimento do público geral, estão disponibilizadas somente no painel de controle.

Dessa forma, voltando aos interesses das operadoras e usuários da rede, a intenção é que os resultados mais específicos e complexos sejam disponibilizados apenas no painel de controle, caracterizando uma forma de acesso restrito às operadoras e usuários com permissões elevadas, para fins de análise de qualidade de uma forma geral. Com a evolução das análises, ao obter resultados que o projeto julgue serem interessantes e compreensíveis aos usuários da rede, basta trabalhar na forma em que este dado deve ser apresentado ao público geral.

3.1.3 Aplicativo ConSinal

Quanto ao aplicativo, atualmente chamado de *ConSinal*, nome originado de uma analogia aos nomes Consumidor e Sinal, é dividido em 5 janelas principais, apresentadas na Figura 3.2: Login, Início, Mapa, Internet e Ranking. A tela de login permite ao usuário iniciar o seu cadastro no sistema e acessá-lo. Após o primeiro login, as permissões de acesso aos dados confidenciais do aplicativo são requisitadas ao usuário. Sem autenticação e o devido acordo com as permissões solicitadas, o usuário não consegue acessar as informações disponibilizadas pelo aplicativo.

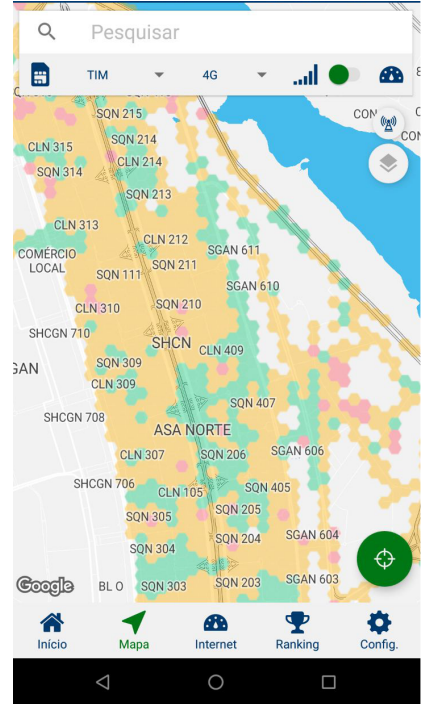
A primeira tela após realizar login no aplicativo é a de Início, Figura 3.2(b), e esta apresenta um *snapshot* em tempo real das condições percebidas pelo celular. Dividida em quatro quadrantes, o superior esquerdo contém um resumo da operadora e tecnologia em que o usuário está conectado,



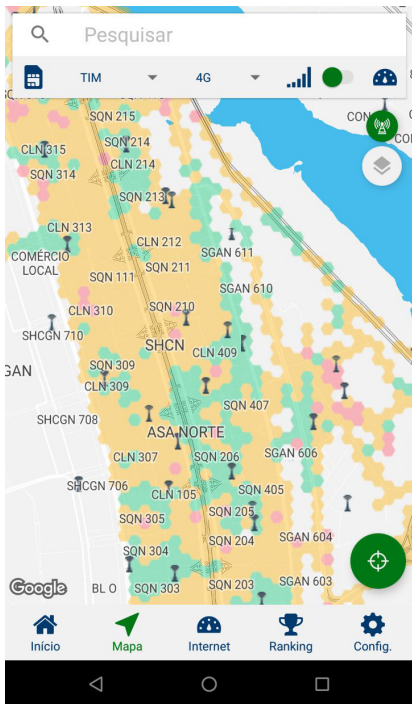
(a) Tela de Login



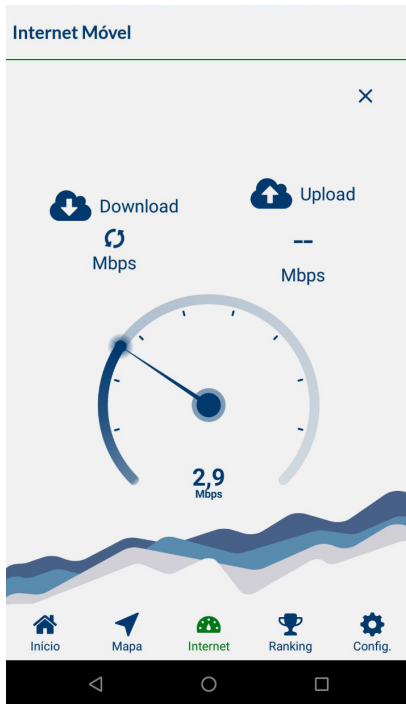
(b) Tela Inicial



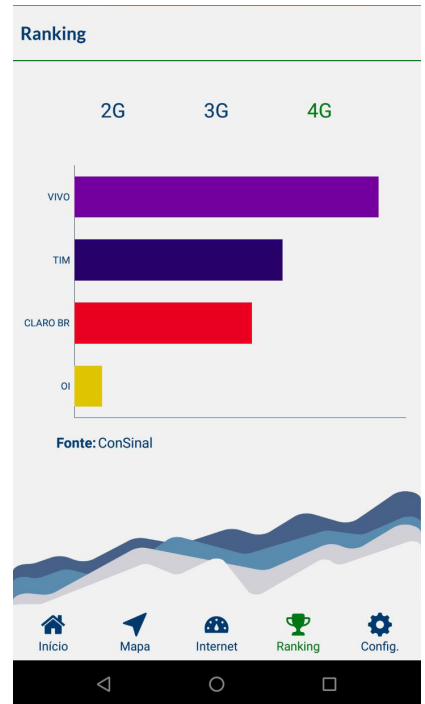
(c) Tela Mapa sem ERBs



(d) Tela Mapa com ERBs



(e) Tela Speed test



(f) Tela Ranking

Figura 3.2: Telas do aplicativo e suas funcionalidades.

junto a uma referência de fácil compreensão, com a qual a maioria dos usuários está mais acostumada, sobre a intensidade do sinal percebida pelo dispositivo. No quadrante superior direito, há um campo detalhado sobre a potência percebida pelo celular em dBm, circulada por uma cor para facilitar a interpretação do usuário.

A utilização de cores é feita para facilitar a interpretação do usuário acerca de uma certa referência de qualidade. Inicialmente, foram atribuídos três intervalos de cores, distribuídos conforme as regras a seguir, categorizadas de acordo com o entendimento de boa, média e má qualidade comumente utilizadas no âmbito de telecomunicações. Futuramente, caso haja necessidade de alterar esses intervalos, basta configurar este parâmetro no servidor e automaticamente a nova regra será aplicada às visualizações.

Regras de qualidade para intensidade do sinal

São aplicadas para todas as tecnologias (2G, 3G e 4G) e divididas em três categorias:

- Verde (boa qualidade): Medições auferidas com valores maiores que -80 dBm;
- Amarelo (média qualidade): Medições auferidas com valores entre o intervalo de -80 dBm a -100 dBm, inclusivo;
- Vermelho (má qualidade): Medições auferidas com valores menores que -100 dBm.

Ainda na tela de Início, no quadrante inferior esquerdo é apresentada a posição da operadora na qual usuário está conectado de acordo com o *ranking* calculado para a região em que se encontra. Mais detalhes sobre a forma de cálculo de *ranking* são discutidas na seção 3.2.1. Por último, no quadrante inferior direito, é apresentada uma espécie de velocímetro, atualizado dinamicamente, de acordo com o uso de taxa de dados instantânea do usuário, em Mbps.

A segunda tela em que o usuário pode navegar é chamada de Mapa, apresentada na Figura 3.2(c) e 3.2(d). Nesta tela, é possível filtrar a operadora e a tecnologia, há ainda as opções de visualizar as ERBs e de ver a cobertura de intensidade de sinal ou de taxa de dados. A base de dados utilizada para mapear as ERBs e suas respectivas tecnologias é fornecida pela ANATEL. A apresentação destes dados é dada por hexágonos sobrepostos ao mapa. O formato hexagonal foi escolhido pela facilidade em encaixar os formatos e cobrir a superfície terrestre. Cada hexágono representa uma coleção de medições (pontos) e possui características derivadas do conjunto de pontos que contempla. Por exemplo, na Figura 3.2(c), cada hexágono representa a média aritmética das intensidades de sinal calculada com base em todos os pontos contidos em sua área de abrangência, e o valor dessa média é associado a uma cor para melhor visualização, seguindo a mesma regra de coloração dos pontos citada acima. As regiões sem hexágonos não significam necessariamente a ausência de cobertura, mas representam principalmente áreas em que não foram coletados pontos pelos usuários da rede.

Já na Figura 3.2(d), a cobertura é visualizada com a sobreposição das Estações Rádio Base (ERB) da operadora selecionada. O conjunto de informações referentes às ERBs é retirado da base da ANATEL [10] e atualizado periodicamente no sistema. Infelizmente, a base disponibilizada pela ANATEL não separa a tecnologia específica de cada ERB, tampouco informa a respeito das

informações que obtemos via sistema, como por exemplo os códigos de identificação da ERB. Caso a base da ANATEL apresentasse tais dados, o sistema poderia concluir alguns aspectos da rede com uma maior acurácia comparativamente ao realizado neste projeto, que é baseado na inferência da posição geográfica e dos dados das ERBs obtidos pelo próprio aplicativo.

Na aba Internet, apresentada na Figura 3.2(e), é possível visualizar um *speed test* em andamento. Basicamente, esta tela permite que o usuário realize os testes de esforço no canal de dados para averiguar as suas condições. Antes de começar o teste, o aplicativo solicita ao usuário que informe o ambiente atual em que se encontra, de acordo com as seguintes possibilidades: "Em ambiente interno", "Em ambiente externo" e "Em movimento". A ideia dessa separação é permitir que o aplicativo mostre coberturas diferentes para determinados ambientes, cujas configurações de potência e qualidade podem ser completamente diferentes. Por exemplo, uma medição realizada no térreo de um prédio terá a mesma localização do que a medição realizada no décimo andar deste prédio. Por mais que o nosso sistema colete a informação de altitude, muitas vezes a precisão do aplicativo nesses ambientes não é suficiente para inferir se o usuário encontra-se em um ambiente interno ou externo. Com a ajuda e informação cedida pelo próprio usuário, mitiga-se o erro por imprecisão desses parâmetros.

A última tela mencionada é apresentada na Figura 3.2(f), chamada de *Ranking*. O objetivo do *Ranking* é apresentar de forma sucinta e objetiva uma ordenação dos resultados de qualidade dentro de uma determinada região, sendo que o primeiro lugar se refere ao que possui melhor qualidade aferida. Como visto no Capítulo 2, a ANATEL possui uma série de indicadores para o controle de qualidade junto às operadoras de telefonia móvel e alguns desses indicadores podem ser refletidos por meio das medições realizadas pelo sistema proposto. O cálculo de *ranking* ainda está em desenvolvimento e atualmente considera a quantidade de pontos e a intensidade do sinal obtido. Os detalhes desse cálculo são apresentados na seção 3.2.1.

3.1.4 Painel de Controle

Quanto ao painel de controle, o acesso é restrito aos usuários com permissão elevada, dado que é possível visualizar todas as informações coletadas. Além de mostrar as camadas de hexágonos, a grande diferença está na funcionalidade que mostra cada ponto de medição realizada.

Os filtros mais comuns englobam a operadora, a tecnologia, o dispositivo utilizado, o usuário específico e a data de início e final das medições. Dentro desse escopo, o painel retorna os pontos que satisfazem essas condições e esses são disponibilizados no mapa. Na Figura 3.3 é apresentado um conjunto de medições realizados em um carro que realizava o percurso no Eixão, na região central de Brasília-DF. Para cada medição, as informações coletadas no aplicativo são apresentadas de forma resumida na caixa de informação (*pop-up*). Neste exemplo, o ponto selecionado nos informa as seguintes características:

- Potência percebida: -103 dBm, classificada como má qualidade (cor vermelha);
- Sem tráfego de dados no dois sentidos (*upload* e *download*);
- Utilizando o canal de frequência de 2680 MHz, informação obtida por meio do código RFC;

- Altitude de 1060 metros acima do nível do mar;
- Conectada na operadora MNO 1 e tecnologia 4G (identificada na rede celular como código 13)
- Código de identificação da célula: 25636867;
- Velocidade média de 76,65 km/h;
- Tipo de conexão é por dados via rede celular (*data*);
- Código IMEI do celular;
- Horário específico da medição.

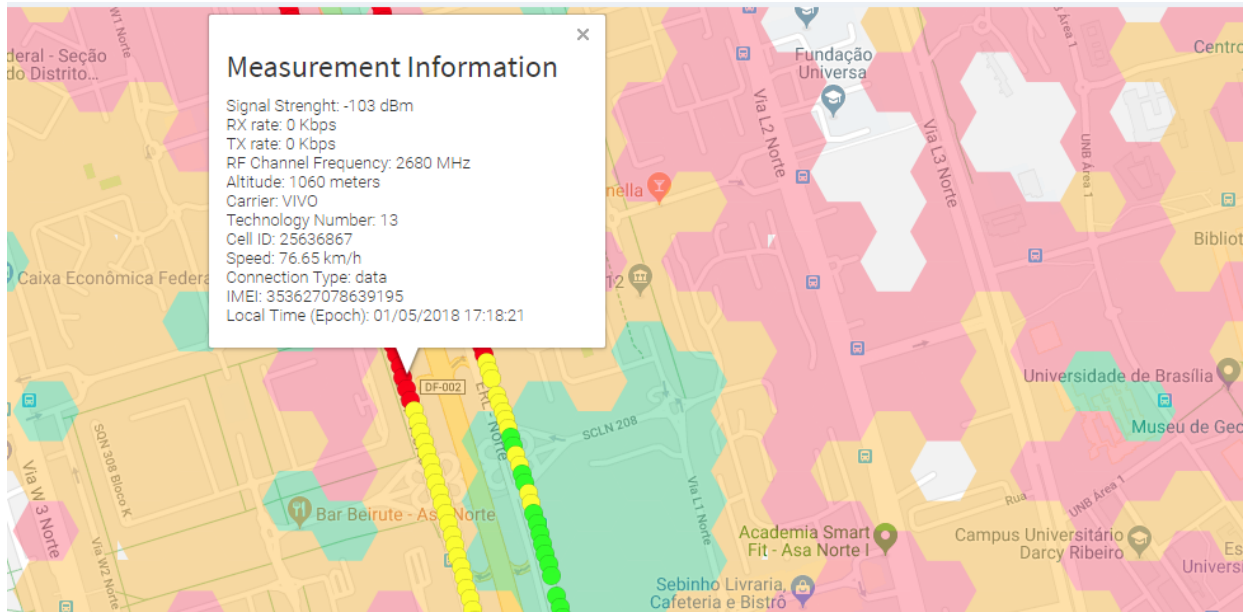


Figura 3.3: Painel de Controle - pontos de medição.

Tabela de Últimos Pontos						
Modelo	Conexão	Hora Local	dBm	RFC	RX (bps)	TX (bps)
Galaxy S7 Edge	wifi	11/05/2018 14:06:18	-104	0	0	0
Galaxy S7 Edge	wifi	11/05/2018 14:06:17	-106	0	0	0
Galaxy S7 Edge	wifi	11/05/2018 14:06:16	-106	0	0	0
Galaxy S7 Edge	wifi	11/05/2018 14:06:15	-106	0	0	0
Galaxy S7 Edge	wifi	11/05/2018 14:06:14	-106	0	0	0
Galaxy S7 Edge	wifi	11/05/2018 14:06:13	-107	0	0	0
Galaxy S7 Edge	wifi	11/05/2018 14:06:12	-107	0	0	0
Galaxy S7 Edge	wifi	11/05/2018 14:06:11	-106	0	0	0

Figura 3.4: Painel de Controle - medições em tempo real.

Além da visualização das medições, o painel é capaz de mostrar em tempo real as últimas medições realizadas para uma certa operadora e tecnologia, Figura 3.4, e também de gerar alguns resultados analíticos sobre a rede que serão apresentados no Capítulo 4. O objetivo do Painel de Controle é permitir um canal de acesso à todos os dados para os usuários com permissão elevada,

permitindo análises, monitoramento em tempo real e outras aplicações customizadas de acordo com a necessidade do estudo.

3.2 Servidor

Os servidores são responsáveis por receber, armazenar, processar os dados e retornar os resultados calculados de forma estruturada para as diversas aplicações. É composto, atualmente, por um servidor de aplicação, um servidor de imagens de mapa e por um banco de dados.

O servidor de aplicação é responsável por tratar os dados recebidos dos usuários, fazer as verificações necessárias e enviar os dados na formatação correta para o banco de dados e aos usuários finais. Escrito em *Python* [30], qualquer requisição de um usuário para inserir uma medição no sistema é verificada por esta entidade. Os dados devem seguir um padrão rigoroso de condições para serem considerados válidos a fim de eliminar informações incompletas, imprecisas ou até mesmo forjadas por usuários maliciosos. Para qualquer comunicação entre o servidor e o aplicativo, o canal é criptografado e só aceita a inserção e a leitura de dados após a autenticação do usuário por meio do padrão JSON Web Token (JWT) [31].

O banco de dados utilizado é chamado de MongoDB [32], um banco não-relacional baseado no conceito de *NoSQL*. Not only SQL (NoSQL) é definido como uma nova geração de banco de dados comumente: não relacionais, distribuídos, de código aberto e escaláveis horizontalmente [33]. O NoSQL tem sua eficiência destacada em armazenar objetos e dados que não precisam ser normalizados (divididos em categorias/tabelas). Ou seja, a proposta é basicamente ser um sistema de armazenamento de dados que visa resolver problemas atuais como escalabilidade, velocidade, adaptabilidade e consistência.

Para exemplificar, em uma estrutura rígida de tabelas, caso seja necessário a adição de uma informação que será enviada em cada nova medição coletada pelo dispositivo móvel, seria necessário a mudança desta tabela e de todos os códigos que realizam a inserção e leitura desta tabela, o que resulta em um custo significativo de codificação para readaptar as lógicas. Em um esquema de objetos, basta configurar na *collection* a nova informação e as novas medições serão salvas sem nenhum problema, assim como os códigos anteriores não perdem a sua funcionalidade.

Fica claro que, para a proposta deste trabalho, a utilização de um banco de dados não-relacional é de importância significativa para permitir escalabilidade, adaptabilidade e principalmente agilidade no tratamento dos dados obtidos pelos usuários. Trata-se de um sistema que recebe e armazena um número significativo de medições. Atualmente, para fins de curiosidade, após aproximadamente 1 (um) ano de coleta e com apenas algumas poucas dezenas de usuários, há cerca de 11 milhões de dados armazenados no banco de dados, não apenas na região do plano piloto, mas em outras regiões do Brasil (Campinas, Recife, Fortaleza, Belém, entre outros) e até mesmo em outros países como Estados Unidos, Canadá, Cingapura, Islândia, França e Dubai. A estabilidade e aplicabilidade do sistema é percebida nas mais diversas campanhas de medição mencionadas.

O outro componente mencionado é o servidor de imagens de mapa. A forma que julgou-se

ser mais acessível e viável, tanto no aspecto técnico quanto no aspecto de visualização para o usuário, foi a sobreposição de imagens, que refletem alguma característica de qualidade da rede, acima do mapa da região em análise. Essas imagens são geradas periodicamente no servidor e levam em consideração todos os pontos salvos no banco de dados. Dessa forma, o papel dos dispositivos móveis se restringe em basicamente mostrar o mapa de interesse do usuário e sobrepor as imagens retornadas pelo servidor. Para melhorar e acelerar a experiência do usuário ao solicitar tais imagens, ainda é implementado um servidor de *caching* de consultas frequentes cujo objetivo é reduzir o tempo de espera das chamadas ao *back-end*.

3.2.1 Cálculos e processamento de dados

O sistema apresenta um diverso leque de resultados baseados em cálculos realizados para uma determinada região, aqui representada por hexágonos. A escolha de hexágonos foi realizada de modo a permitir o perfeito encaixe das formas geométricas ao longo do mapa, o que não seria possível com círculos ou formatos irregulares, por exemplo.

Para qualquer ponto de medição feito ao redor do mundo, há necessariamente apenas 1 hexágono que o circunscreve, permitindo que um conjunto de pontos geograficamente próximos possam ser tratados como um único grupo, cujas características são derivadas de todos os elementos que o compõe.

Por exemplo, o cálculo de potência média de um hexágono é dado simplesmente por uma média aritmética de todos os valores de potência obtidos em cada medição realizada dentro da região geográfica que o hexágono engloba. Esse raciocínio é análogo para os resultados apresentados no Capítulo 4 que envolvem agregação em hexágonos. Ou seja, para cada hexágono, pode-se realizar qualquer operação algébrica e estatística com o conjunto de pontos englobados, como por exemplo médias, histogramas e funções de probabilidade para análise de potência, taxa de dados, *handoffs*, ou qualquer outro parâmetro de interesse.

Ainda sobre o padrão de hexágonos utilizado, é interessante mencionar que o raio (lado) do hexágono é arbitrário e pode ser modificado dinamicamente por meio da edição de um parâmetro presente no servidor de aplicação. Portanto, é possível realizar os estudos para vários níveis de precisão, desde distâncias de alguns metros até distâncias de nível estadual/regional.

O cálculo dos hexágonos utiliza o algoritmo de arredondamento com o sistema de coordenadas hexagonal simétrico proposto em [34]. A proposta se resume em converter coordenadas cartesianas para o sistema hexagonal, arredondadas e, então, convertidas novamente para o sistema cartesiano. Dessa forma, para qualquer ponto no mapa em coordenadas decimais é possível calcular o hexágono que o circunscreve.

A conversão das coordenadas cartesianas (longitude, latitude) = (x,y) para as coordenadas hexagonais (x' , y' , z') é feita em duas etapas. Primeiro, as coordenadas cartesianas são convertidas para o sistema de coordenadas oblíquas usando a matriz de transformação linear [34]

$$\begin{bmatrix} q \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2/3 & 0 \\ -1/3 & \sqrt{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \left(\frac{1}{raio} \right).$$

No grid hexagonal, duas das coordenadas são as mesmas das coordenadas oblíquas (q,r) [34]. Considerando que $x' + y' + z' = 0$, após arredondamento dos resultados, as coordenadas hexagonais obtidas (x'_r, y'_r, z'_r) são convertidas de volta para o sistema de coordenadas oblíquas através do descarte do termo y'_r , ou seja, $(q_r, r_r) = (x', z')$ Então, finalmente, a matriz de transformação inversa é utilizada para calcular as coordenadas cartesianas do centro do hexágono (longitude, latitude).

Até o momento, são utilizados no sistema três configurações de tamanho de hexágonos. O maior dos três é genericamente chamado de "região", e os dois menores são chamados genericamente de hexágonos. Enquanto os hexágonos são utilizados para montar o mapa de cobertura e permitir uma visualização detalhada e organizada dos parâmetros coletados de cada operadora, regiões são comumente usadas para montar as agregações de dados, como por exemplo os *rankings* de qualidade.

O objetivo do *ranking* é apresentar de uma forma justa e resumida qual operadora apresentou uma qualidade melhor em uma determinada área de estudo, no formato de separação por tecnologias. Como mencionado no Capítulo 2, os indicadores de qualidade muitas vezes são de difícil obtenção e não representam de forma fiel a sensação do usuário.

Com a coleta das informações neste projeto, tem-se como um dos maiores objetivos e desafios propor um cálculo de *ranking* que seja capaz de considerar parâmetros que tenham relevância na rede e que de certa forma descrevam a percepção de qualidade por parte do usuário. Atualmente, o projeto não chegou nesse nível de análise pois ainda encontra-se em desenvolvimento e é necessário uma coleta maior de pontos, por meio de diversos clientes, para começar a decifrar os possíveis indicadores como : resultados de média de potência e taxa de dados, desvios padrões, quedas de ligações, dentre outros parâmetros.

Considerando parâmetros mais subjetivos, o sistema é capaz de identificar e registrar o momento em que o dispositivo inicia e encerra uma ligação e ainda determinar se a ligação é feita para a central de atendimento ao cliente. Logo, pode ser utilizado como uma fonte alternativa para auxiliar o indicador da ANATEL a fim de determinar a duração média de ligações realizadas no SAC da operadora.

Atualmente, com o objetivo de exemplificar a visualização dos *rankings*, sem que o resultado apresente efetivamente e de forma completa o cenário de qualidade, utiliza-se o seguinte cálculo para determinar o posicionamento de cada operadora:

$$v_i = \left(\frac{1}{w_c + w_p} \right) \left(w_c \frac{c_i}{\max c_i} + w_p \frac{p_i}{\max p_i} \right), \quad (3.1)$$

em que v_i representa o valor usado para classificação referente à operadora i , w_c e w_p são os pesos atribuídos à contagem de hexágonos e à média de intensidade de sinal, respectivamente, c_i é a

contagem de hexágonos para a operadora i e p_i é o valor da média de intensidade de sinal para a operadora i .

3.3 Conclusão

Neste capítulo foram apresentados o funcionamento geral da plataforma e a sua subdivisão entre a componente dos clientes e a componente de servidores. Para a primeira, os parâmetros coletados na rede e a forma leve e robusta que o aplicativo foi estruturado são as principais características que permitem que a aplicação demonstre sua relevância como uma ferramenta que possa agregar valor aos usuários e às operadoras de telefonia móvel. Já a segunda componente, representa uma entidade que coleta, processa, analisa e retorna os resultados de uma forma amigável e compreensiva para os usuários finais. No próximo capítulo serão apresentadas alguns desses estudos e resultados obtidos pela plataforma.

Capítulo 4

Análise dos dados

O sistema proposto neste trabalho é capaz de gerar os mais diversos resultados para atender as necessidades do usuário. Atualmente, em seu primeiro momento, o escopo do projeto corresponde à coleta e análise de informações das redes celulares. A partir da verificação da fidedignidade dos dados coletados, é possível realizar análises acerca de tais informações que colaboram para o acompanhamento do funcionamento e desempenho da rede celular. Com o reconhecimento de padrões que representam uma falha de qualidade na rede, o sistema é capaz de notificar, de forma proativa, os administradores de cada operadora para que tais ocorrências possam ser analisadas e possivelmente resolvidas.

É importante ressaltar que este trabalho encontra-se, atualmente, na fase de coleta, verificação de dados e na elaboração das primeiras formas de análise. Conforme mencionado, à medida que tais resultados forem consolidados e padrões de falhas forem reconhecidos, a detecção destes padrões na rede se torna algo automático e gerenciável pelos analistas.

Dito isso, os resultados apresentados neste capítulo visam apresentar o ferramental disponibilizado pela plataforma e algumas de suas primeiras implicações. Em sua maioria, os dados coletados foram obtidos por meio de campanhas de medição realizadas pelos próprios membros do projeto, nas quais foram utilizados diversos dispositivos móveis, cada um com uma operadora diferente, a fim de maximizar o espaço amostral. Foram feitas inúmeras medições no âmbito nacional e internacional, em que o sistema se provou robusto e flexível para qualquer região do mundo.

4.1 Intensidade do sinal e parâmetros do sistema

A intensidade do sinal é um fator crucial para identificar zonas sem cobertura e está diretamente correlacionada a problemas de qualidade na rede. Entretanto, é um parâmetro resultante das configurações da rede e das características do meio em que o usuário se encontra.

As Figuras 4.1 e 4.2 ilustram, respectivamente, o trecho percorrido a pé em uma região no Lago Norte de Brasília, onde a estação rádio base é destacada pelo círculo azul, e as componentes do sinal obtidas. A rede utilizada durante o percurso foi a 4G e não houve nenhum evento de

handoff durante o trecho. Portanto, as informações obtidas de potência se referem exclusivamente à estação rádio base destacada. A distância inicial e final do trecho são de, aproximadamente, 100 metros e 650 metros da estação rádio base, respectivamente.

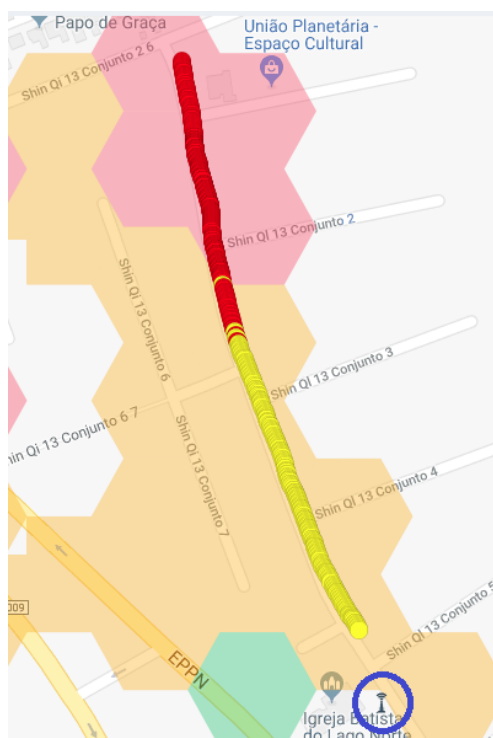


Figura 4.1: Trecho percorrido e localização da ERB.

Por meio da Figura 4.2, é possível ver que à medida que o dispositivo móvel se afasta da estação rádio base, não só a intensidade do sinal vai diminuindo, com o valor mínimo obtido de -116 dBm, mas também é notável o aumento da amplitude nas variações do sinal. A perda de percurso e o desvanecimento lento são destacados na imagem para ilustrar que a plataforma é capaz de ajudar no estudo de modelagem de canal. Entretanto, devido a frequência de aquisição de dados limitada pelo dispositivo móvel, não é possível filtrar a componente de desvanecimento rápida.

Com apenas a informação da intensidade do sinal, a análise de cobertura de uma rede pode se tornar vaga por não conhecer o real motivo da presença fraca de sinal. Muitas vezes, aumentar a potência de radiação de uma célula pode gerar o efeito oposto, causando interferência no sinal de outra célula vizinha e prejuízo no desempenho nos enlaces de comunicação.

Outros fatores determinados pelo meio e usuário são também de extrema importância. Saber quando e quais regiões geralmente ocorrem os *handoffs*, quais as regiões de sombra de uma estação rádio base, a velocidade do usuário e outros fatores podem clarificar o motivo da má qualidade.

O seguinte cenário de medição foi realizado por apenas 1 (um) dispositivo móvel, modelo Nexus 5X, percorrendo uma rodovia conhecida como EPTG (Estrada Parque Taguatinga), um dos principais trajetos que interligam as regiões de Taguatinga e Plano Piloto, na cidade de Brasília. Tal trecho é conhecido por ter algumas zonas de sombra em que às vezes há problemas na qualidade da rede.

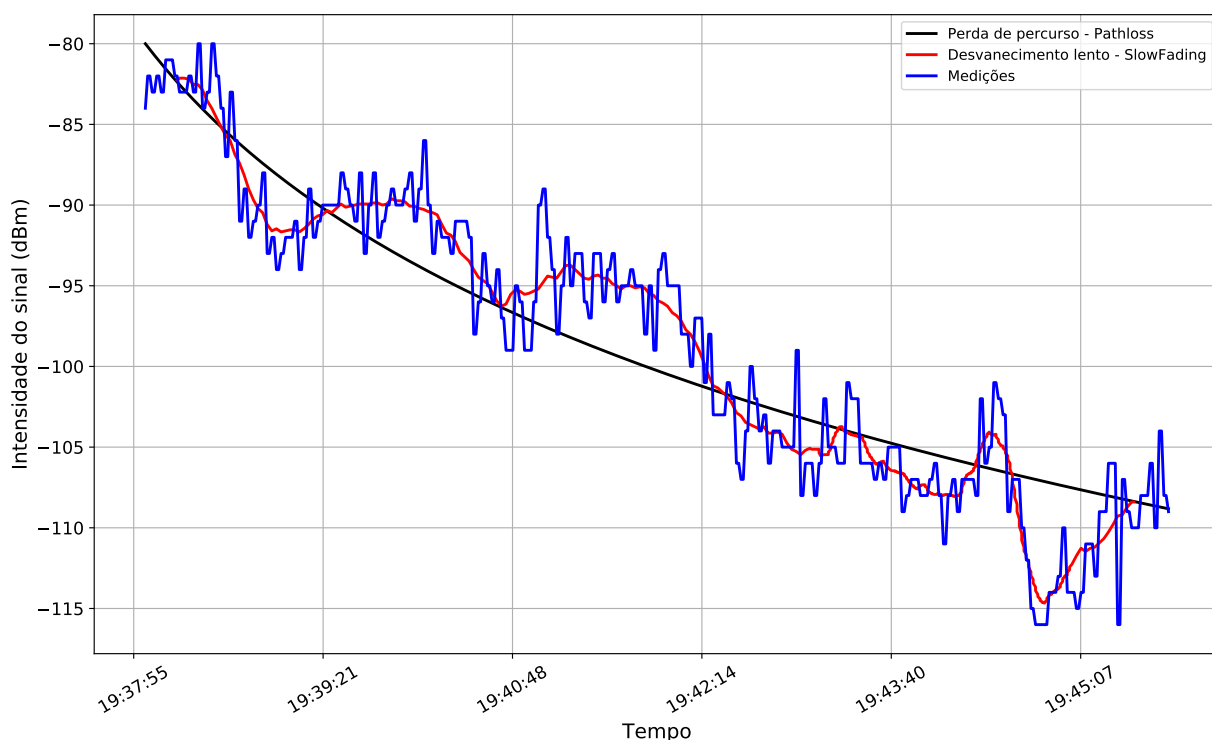


Figura 4.2: Componentes do sinal. Rede 4G.

O objetivo de realizar a medição com apenas 1 (um) dispositivo móvel não é gerar conclusões à respeito da cobertura deste região, mas sim mostrar os parâmetros individuais coletados pelo aplicativo e suas possíveis implicações.

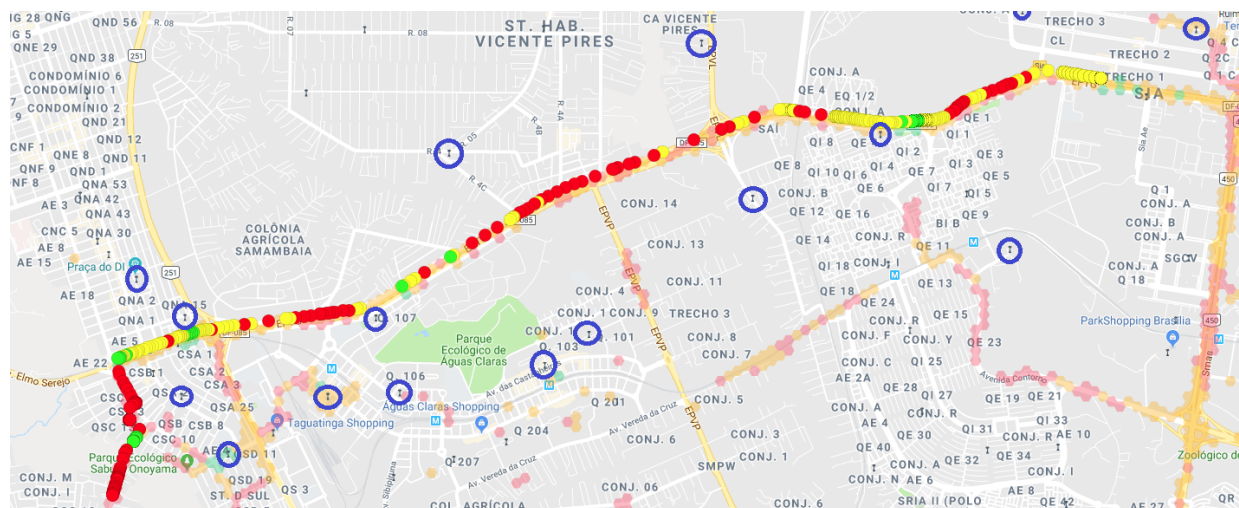


Figura 4.3: Trecho EPTG (Estrada Parque Taguatinga) sentido Taguatinga - Plano Piloto. Rede 4G.

A Figura 4.3 apresenta os dados obtidos durante o percurso. As medições presentes na Figura representam somente a tecnologia 4G para facilitar a visualização. Os pontos coletados com a tecnologia 3G não estão presentes na Figura 4.3, mas estão contidos nos restantes dos resultados. O

dispositivo móvel não estava com nenhuma aplicação que consumia dados, apenas com o aplicativo de medição para acompanhamento. Ainda neste trecho, é circulado em azul as estações rádio base próximas ao local de estudo.

As informações de intensidade do sinal são apresentadas na Figura 4.4, com sua coloração dada de acordo com a faixa determinada de qualidade e o formato do ponto indicando a tecnologia em que estava conectado. Os pontos de formato quadrado representam os momentos em que o celular estava conectado na tecnologia 3G e pontos circulares, na tecnologia 4G.

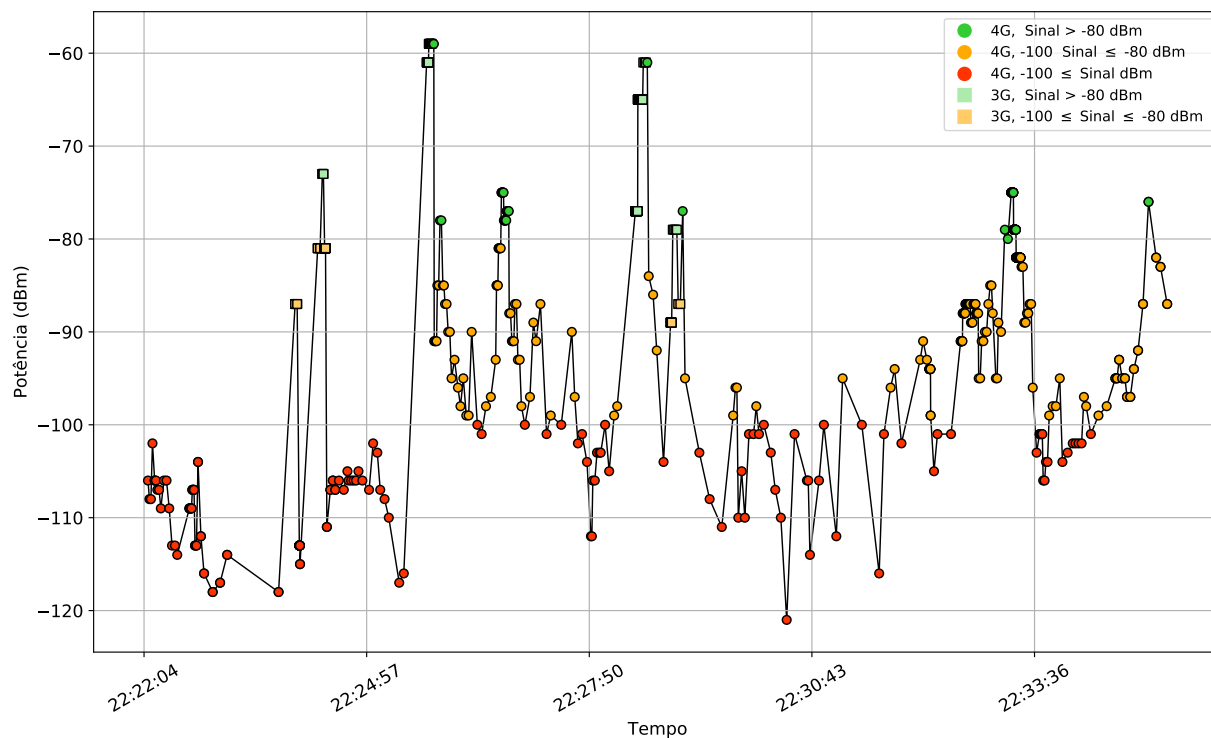


Figura 4.4: Intensidade do sinal obtida no Trecho EPTG (Estrada Parque Taguatinga) Taguatinga - Plano Piloto.

É possível observar que durante o trajeto a tecnologia conectada foi predominantemente a 4G. Alguns trajetos onde a rede 3G foi a escolhida, a conexão não se manteve por muito tempo, o que demonstra que está empenhando um papel de suporte à rede 4G. Pelos dados coletados, o dispositivo móvel tem uma clara preferência à rede 4G, mesmo tendo ciência que a potência está bastante inferior à da rede 3G.

Com o auxílio das Figuras 4.5 e 4.6, é possível verificar as informações de velocidade e altitude do dispositivo móvel, respectivamente. A princípio, mesmo que algumas funcionalidades dos dispositivos móveis sejam afetadas por um rápido deslocamento, como por exemplo a taxa de erro na transmissão e recepção de dados, a intensidade do sinal mostrou-se descorrelacionada a este fator. Analisando os dados de altitude, é possível perceber uma certa relação entre estes dados e a potência do sinal. Em outras palavras, geograficamente falando, regiões mais baixas que outras possuem maior chance de terem a sua linha de visada com a estação rádio base comprometida e depender apenas das componentes de multipercursos do sinal. Fica evidente que, ao entrar ou sair

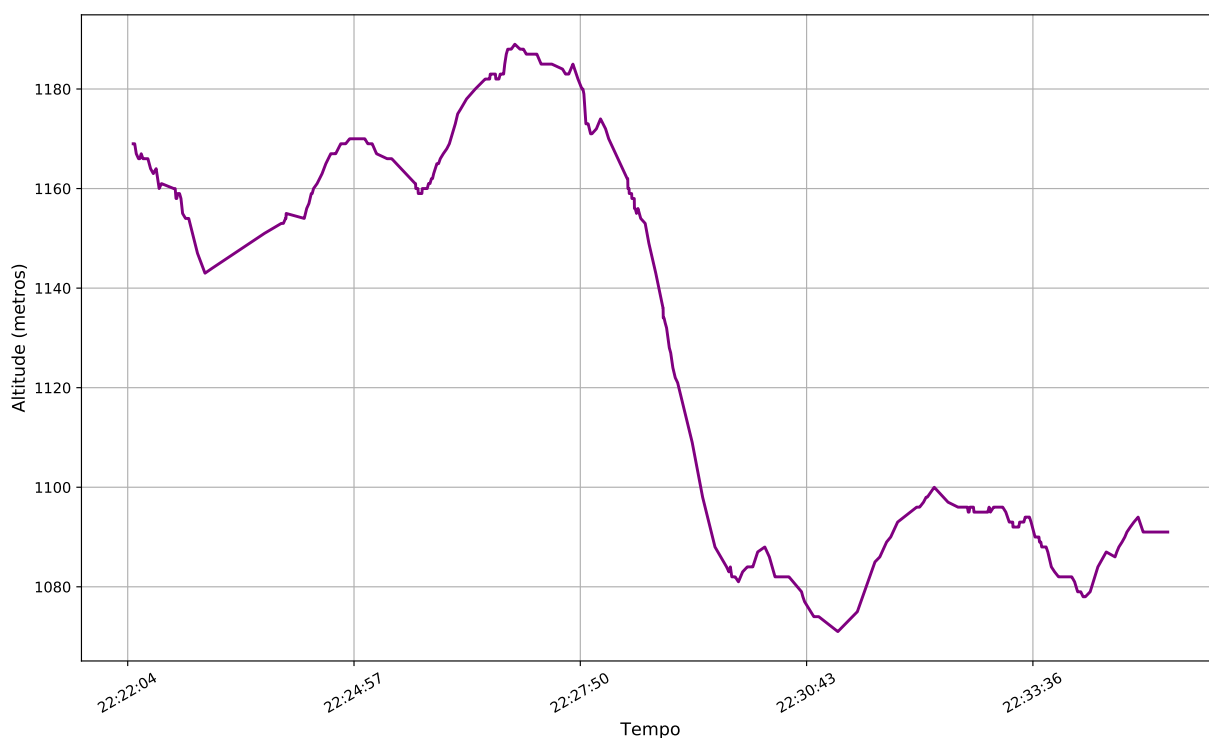


Figura 4.6: Altitude do dispositivo móvel obtida no Trecho EPTG (Estrada Parque Taguatinga) sentido Taguatinga - Plano Piloto.



Figura 4.7: Entrada e saída EPTG. Região de *handoffs*.

das células vizinhas à respeito de sua potência e outros parâmetros e toma a decisão de permanecer na célula em que está ou de realizar a migração para outra célula.

Ainda sobre a região de mudança de célula apresentada na Figura 4.7, ao analisar a Figura 4.8 perto do tempo gráfico de 22:27:50, observa-se que o dispositivo móvel estava conectado no PCI de código 416, representado por pontos roxos acima da linha de 400, e durante as próximas medições começou a receber os pontos referente à nova célula, cujo PCI é 426 e representada por pontos cinzas. Interessante ressaltar que após a mudança de célula, o dispositivo móvel parou de receber informações sobre a célula anterior, confirmando a região de sombra pela mudança de altitude.

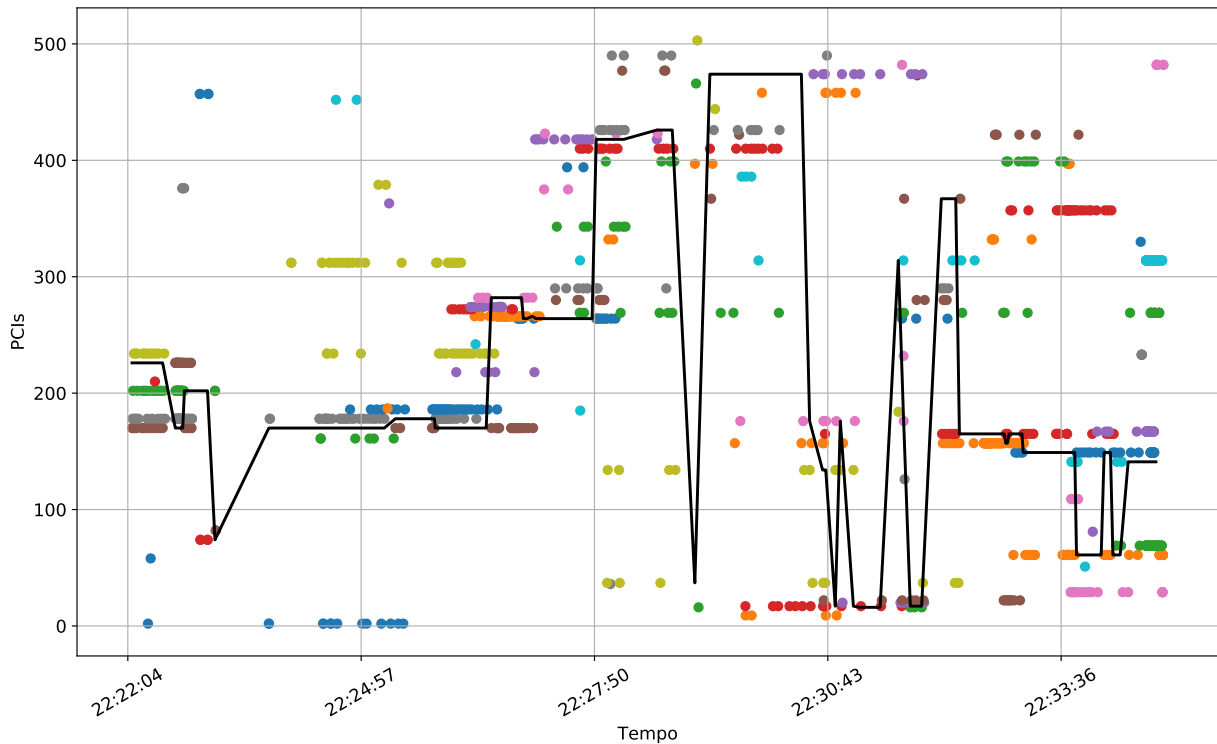


Figura 4.8: Códigos de identificação física das células - LTE. Em preto, o código da célula conectada e nas outras cores as informações coletadas de células vizinhas.

Quanto às informações da rede, o dispositivo móvel é capaz de fornecer o padrão da tecnologia em utilização e as características do canal. Na Figura 4.9, expandiu-se o tempo de amostra para incluir alguns dados prévios cuja a tecnologia em uso era a HSPA+, representada pelo código 15. No restante das medições, apresentadas nos restantes dos resultados, os dados limitaram-se às tecnologias LTE, código 13 e HSPA, código 10. Por meio deste código, é possível reconhecer todas as tecnologias disponíveis, como por exemplo LTE, CDMA, WCDMA, UMTS, HSPA, HSPA+, GSM, entre outras.

Já as características físicas do canal são obtidas por meio do parâmetro chamado canal rádio frequência (RFC). Trata-se de um código que as operadoras devem seguir para que o dispositivo móvel reconheça as informações físicas do canal, como por exemplo a banda e a frequência principal a serem utilizadas. Na Figura 4.10, os dados coletados de RFC são apresentados. Os valores numéricos foram 10811, 4379, 3350 e 1700. Utilizando os dados contidos na figura 2.2, as informações de RFC foram transformadas para obter a frequência principal de transmissão do canal, ilustrado na figura 4.11. Interessante observar que durante o percurso, o canal 4379 foi utilizado tanto para a tecnologia 3G quanto para a 4G em frequências diferentes e representam períodos de curta duração utilizados durante os eventos de *handoff*.

A respeito do estado do dispositivo móvel, o sistema operacional é capaz de informar as condições atuais de ligação, de tráfego de dados, de *simcard* e de outras características do aparelho. Neste cenário de estudo, o celular não realizou ligações, e portanto permaneceu com o estado *idle*, mas tráfegou dados oriundos da própria aplicação de medição. Os possíveis estados para o tráfego de dados

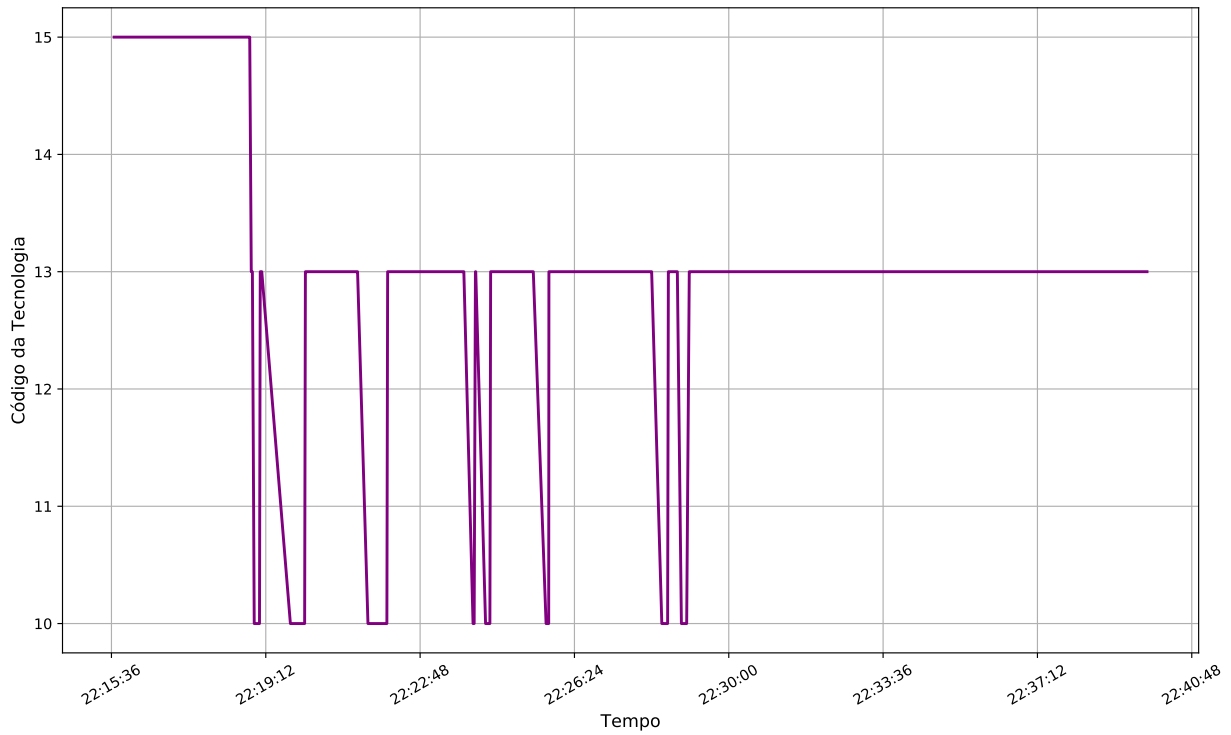


Figura 4.9: Códigos de tecnologia (15 para HSPA+, 13 para LTE e 10 para HSPA) obtidos no Trecho EPTG (Estrada Parque Taguatinga) sentido Taguatinga - Plano Piloto.

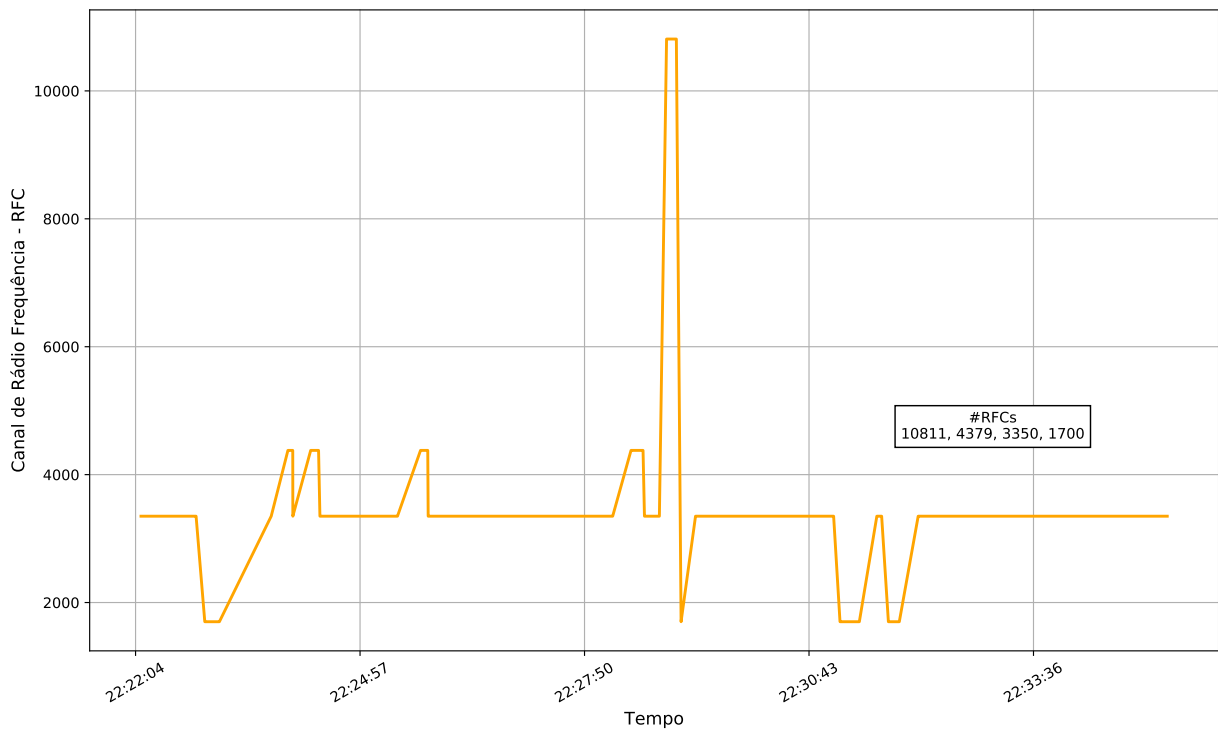


Figura 4.10: Canais de rádio frequência (RFC) obtidas no Trecho EPTG (Estrada Parque Taguatinga) sentido Taguatinga - Plano Piloto.

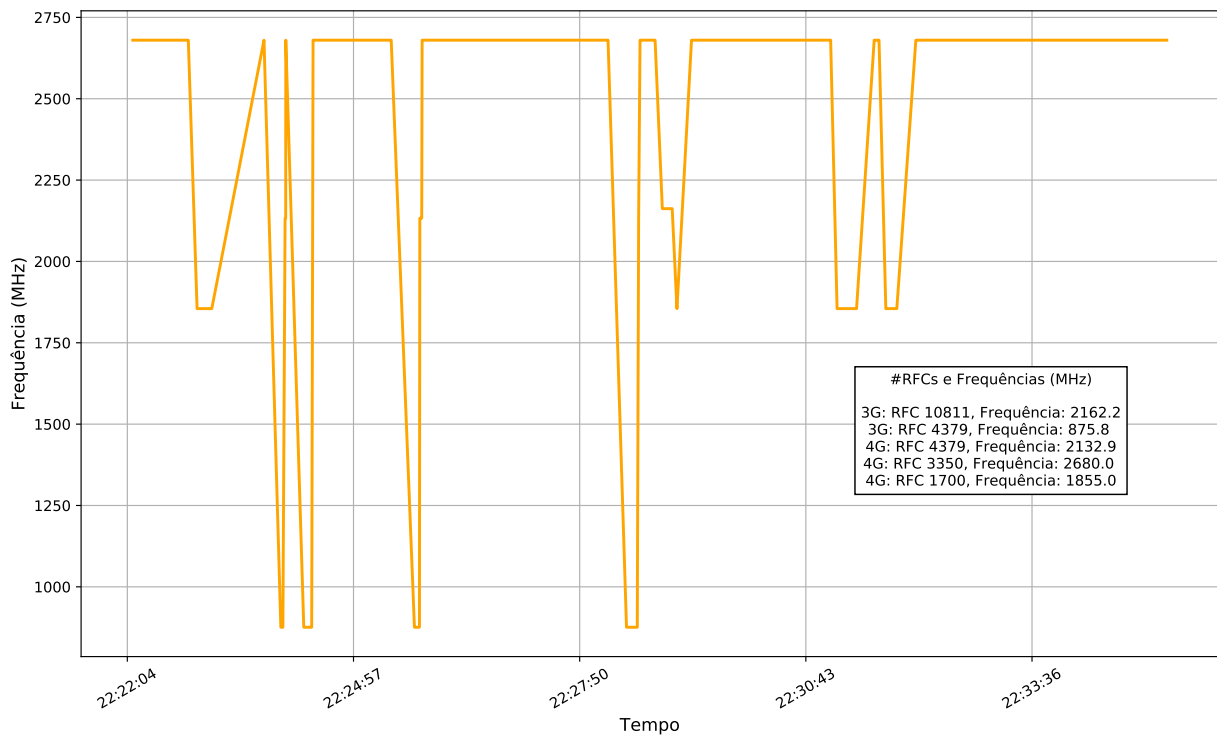


Figura 4.11: Frequência utilizada no Trecho EPTG (Estrada Parque Taguatinga) sentido Taguatinga - Plano Piloto.

são *data_connected_in*, *data_connected_out*, *data_connected_inout*, *data_connected_none* que representam, respectivamente, entrada de dados, saída de dados, entrada e saída de dados, e sem fluxo de dados. Durante o trecho observado, o dispositivo permaneceu 90% do tempo sem gerar tráfego de dados, 7,8% do tempo trafegando dados simultaneamente nos dois canais, 2% do tempo somente no canal de descida (*download*) e 0,85% somente no canal de subida (*upload*).

4.2 Taxa de dados

Atualmente, as informações obtidas referentes a taxa de dados têm um papel fundamental no planejamento de rede. Não basta que as operadoras garantam uma boa intensidade do sinal, o importante para o usuário final é que a aplicação que ele quer usar funcione da forma desejada. Hoje, a grande maioria das aplicações demandam um grande fluxo de dados e entender como esse processo funciona nos detalhes pode impactar nas decisões estratégicas das operadoras referente a sua estrutura de rede.

A potência do sinal recebida pelo dispositivo móvel é apenas um dos fatores que determinam a qualidade do canal. Existem inúmeros outros fatores de rede que geram gargalos no canal e conseqüentemente uma baixa taxa de dados para o usuário final, mesmo que o dispositivo móvel esteja em uma zona de boa intensidade do sinal.

O aplicativo desenvolvido nesse projeto é capaz de medir esses gargalos por meio de duas formas:

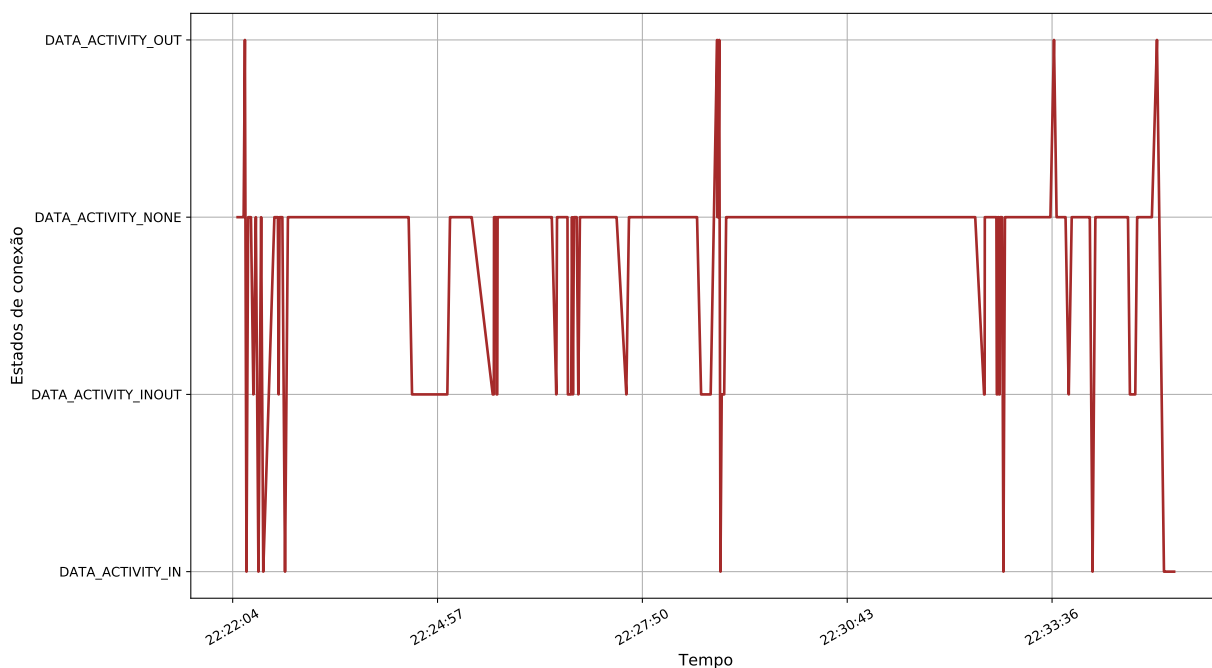


Figura 4.12: Estados de tráfego de dados durante o Trecho EPTG (Estrada Parque Taguatinga) sentido Taguatinga - Plano Piloto.

a primeira é a realização de *speed tests*, a fim de forçar ao máximo a taxa de dados que o canal consegue entregar, e a segunda são as medições instantâneas feitas em *background* pelo aplicativo. Basicamente, após um período de tempo configurável no servidor, o aplicativo mede o volume de dados que trafegou no dispositivo e realiza uma média no tempo para calcular uma taxa média. Quanto menor esse tempo, por exemplo 1-2 segundos, pode-se afirmar que é praticamente uma taxa instantânea medida no canal. Com esse nível de detalhe, podemos entender como funciona o fluxo de dados de diferentes aplicações e suas consequências na análise de rede.

O cenário de estudo para este tema foi realizado na quadra 407 Norte, na região da Asa Norte de Brasília, enquanto o usuário se deslocava a pé pelas regiões próximas com o dispositivo Nexus 5X, apresentada na Figura 4.13. O local foi escolhido por estar próximo de uma estação rádio base e possuir regiões de boa, média e má qualidade de sinal, devido aos prédios que operam como obstáculos para o sinal da operadora. Ao longo do caminho, escolheu-se uma região com certo nível de intensidade do sinal e iniciou-se uma sequência de 10 *speed tests* pelo aplicativo desenvolvido.

A intensidade do sinal durante o trecho é apresentada na Figura 4.14 e a sequência de *speed tests* na Figura 4.15. As linhas de cor marrom representam as taxas instantâneas no canal de *download* e as linhas de cor preta as taxas instantâneas no canal de *upload*. O primeiro resultado retirado do gráfico diz respeito aos primeiros 7 *speed tests* realizados. É possível ver que, a partir de uma certa faixa de potência, por volta dos -105 dBm, os resultados de taxa permanecem bem próximos uns dos outros. Nos momentos em que a intensidade estava em seu máximo, faixa de -70 a -80 dBm, não observou-se aumentos na taxa de transmissão do canal. Na verdade, o terceiro e o quarto *speed test* realizado tiveram taxas superiores ao quinto, mesmo possuindo uma intensidade do sinal bastante superior. Com esses primeiros 7 *speed tests*, podemos inferir, pelo menos no que

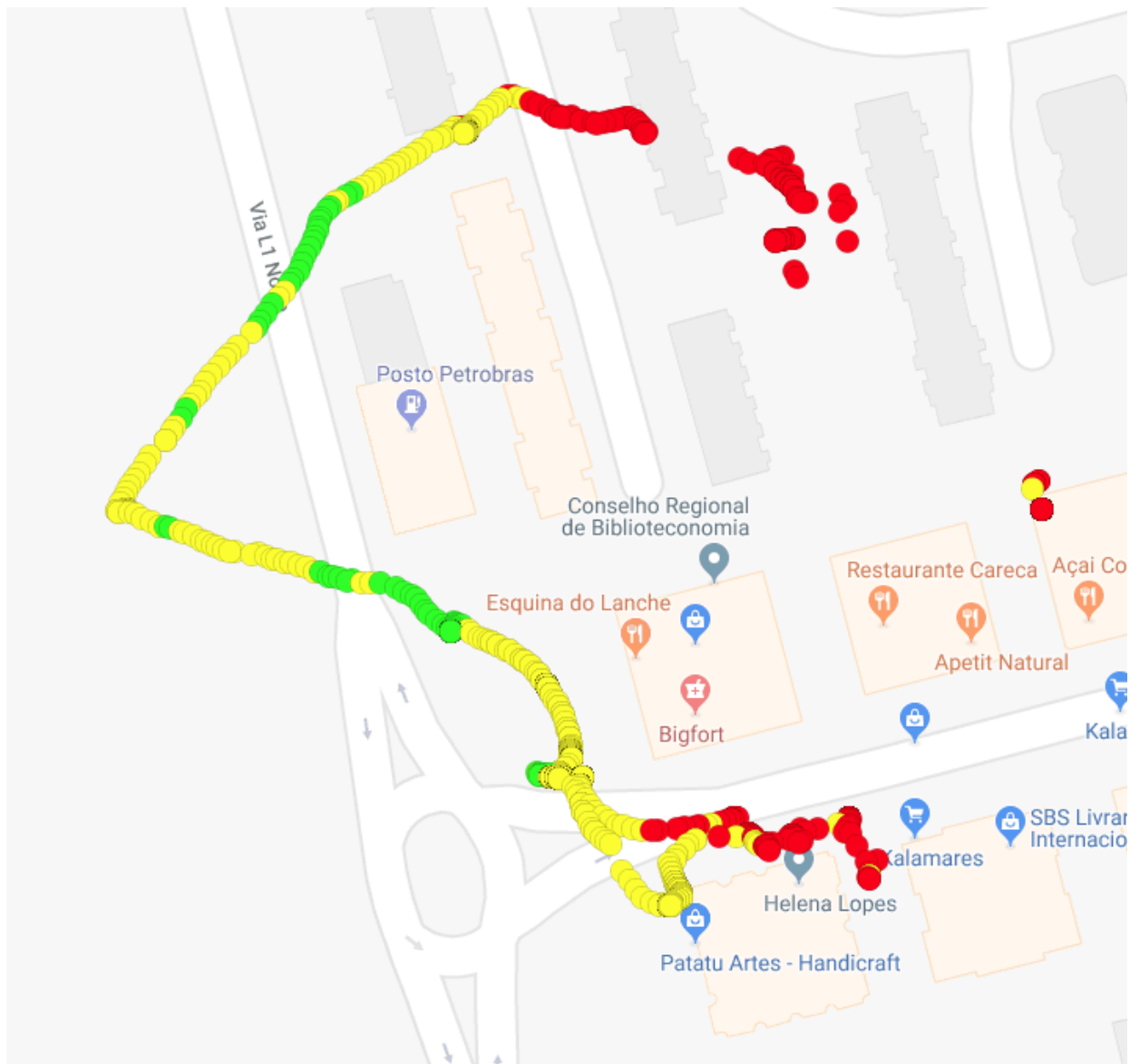


Figura 4.13: Trecho 407 Norte, Brasília. Medições mostradas para a rede 4G.

diz respeito ao trecho estudado, que uma intensidade do sinal acima de -100 dBm para a tecnologia 4G é suficiente para entregar uma taxa de dados significativa e não há melhoras relevantes entre as intensidades classificadas como boa (≥ -80 dBm) e média ($-80 \leq \text{Sinal} \leq -100$ dBm).

O segundo resultado é extraído das 3 últimas sequências de *speed test*. No primeiro desses, sendo o oitavo teste na sequência total, o dispositivo manteve-se conectado no 4G porém com uma intensidade na faixa de -115 dBm. A consequência na taxa instantânea é nítida, tanto para o *download* quanto para o *upload*. No segundo, ao realizar o *speed test*, o dispositivo preferiu migrar para a rede 3G e realizar o *download* dos dados. Entretanto, mesmo com a intensidade do sinal na tecnologia 3G sendo superior, o dispositivo voltou para a tecnologia 4G para finalizar o *download* dos dados. No último exemplo de *speed test*, o dispositivo já se encontrava em uma região de sombra e conectado no 3G. Ao iniciar o *speed test*, tentou migrar para a rede 4G mas rapidamente migrou de volta para a rede 3G e concluiu lentamente o *download* e *upload* dos dados. Interessante

ressaltar que a diferença de taxa entre as tecnologias é considerável, e muitas vezes a rede prefere permanecer no 4G com uma intensidade do sinal baixa e apenas realiza a migração para o 3G se realmente a intensidade do sinal estiver bastante degradada (abaixo de -115 dBm).

A fim de averiguar a integridade dos dados de taxa obtidos pelo aplicativo, foram realizados inúmeros testes de comparação entre o aplicativo deste trabalho e outras marcas já renomadas no mercado. Em sua grande maioria, os resultados realizados pelo *speed test* apresentaram uma diferença média inferior à 5% dos restantes, considerando inclusive os cenários de teste na rede *wi-fi*. A Figura 4.16(c)(d) apresenta dois *Speedtests* realizados pelo aplicativo *Speedtest* [35] e as correspondentes taxas instantâneas obtidos pelo aplicativo desenvolvido neste trabalho 4.16(a)(b). É possível verificar que os valores coletados de taxa instantânea são coerentes com os valores apresentados pelo aplicativo *Speedtest*.

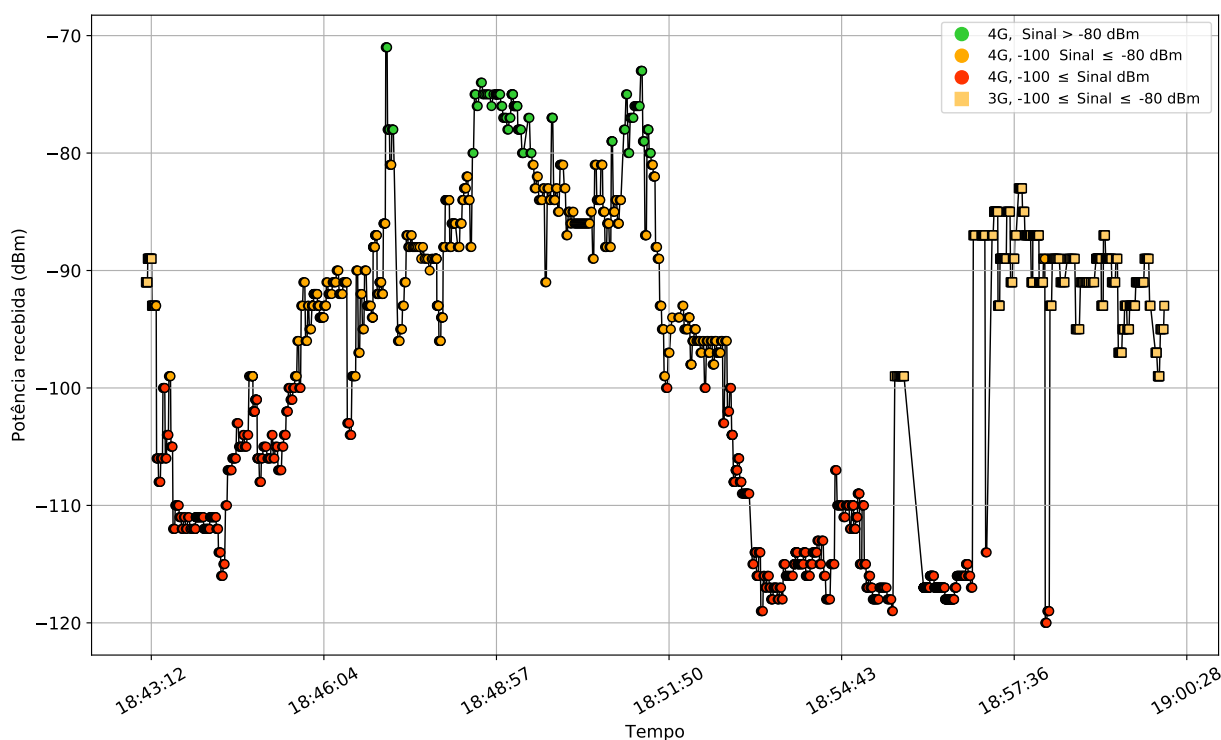


Figura 4.14: Intensidade do sinal obtida no trecho 407 Norte, Brasília.

Em um outro trecho analisado, verifica-se o comportamento das taxas instantâneas quando o dispositivo encontra-se executando um aplicativo de *streaming* de vídeo de alta qualidade. O veículo estava em movimento na região do Eixo Monumental, Asa Norte, Brasília. As informações de intensidade de sinal e taxas de *download* e *upload* são apresentadas nas Figuras 4.17, 4.18 e 4.19, respectivamente. É possível verificar que o tráfego de aplicações de *streaming* de vídeos funciona por meio de *bursts*, ou do português, rajadas de dados. É completamente diferente de uma aplicação de *Speedtest*, em que o objetivo é estressar o canal constantemente para extrair a maior taxa de dados possível. As aplicações de *streaming* têm um impacto significativo quando não conseguem carregar dados suficiente, pois não é possível exibir os vídeos sem a ausência de pausas, cortes e falhas. Tais aplicações utilizam *buffers* e realizam o *download* antecipado do vídeo

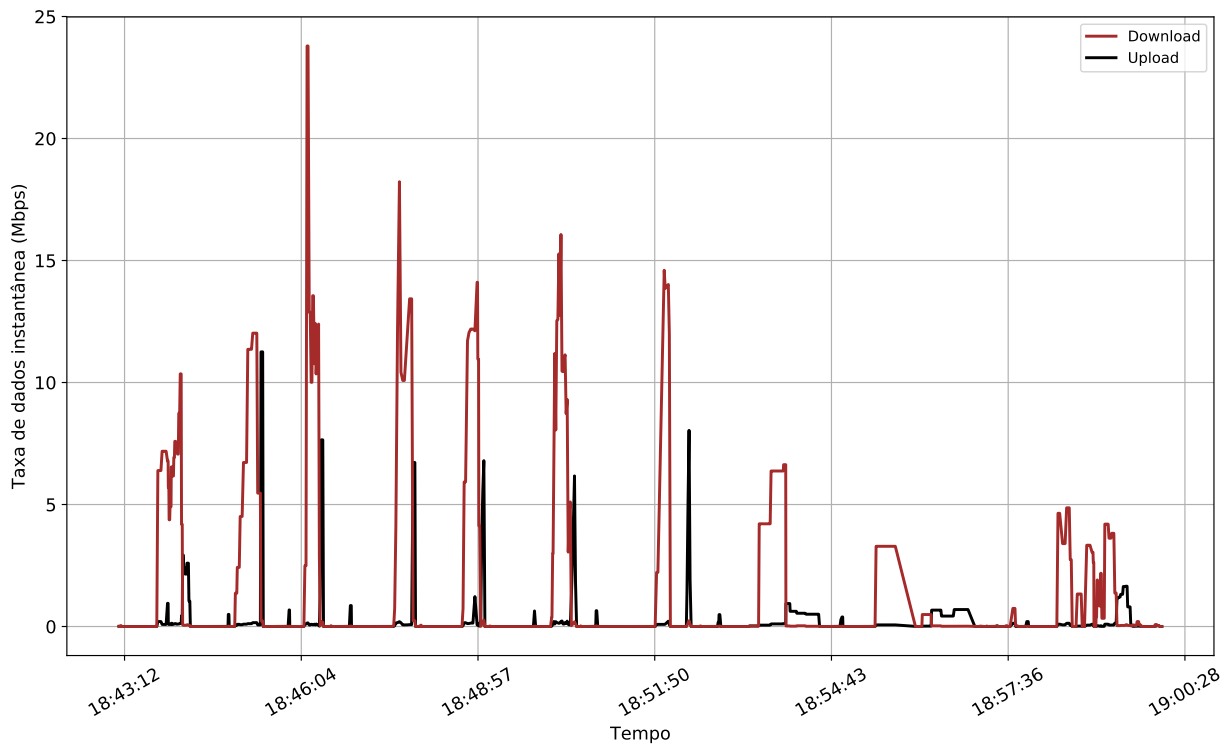


Figura 4.15: Taxa de dados instantânea no trecho 407 Norte, Brasília.

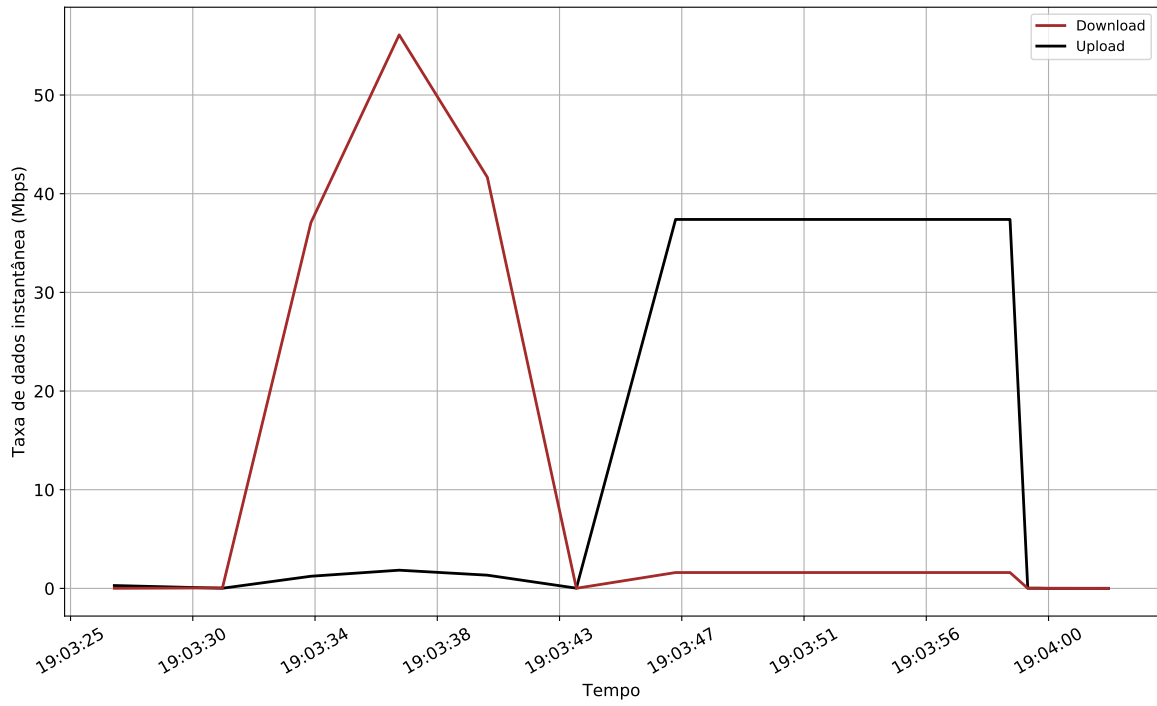
para que o usuário não encontre problemas na reprodução. Toda vez que o usuário estiver perto de alcançar o *buffer*, realiza uma rajada de dados curta e intensa, no formato de dentilhado, conforme ilustrado na Figura 4.18.

Da mesma forma que no trecho onde foi realizado os *speed tests*, é possível perceber que, quando o dispositivo esta conectado na rede 3G, o formato da curva é alterado. Nesses momentos, as taxas máximas são reduzidas e espalhadas no tempo, tirando o formato de *bursts* visualmente presentes quando conectados na tecnologia 4G.

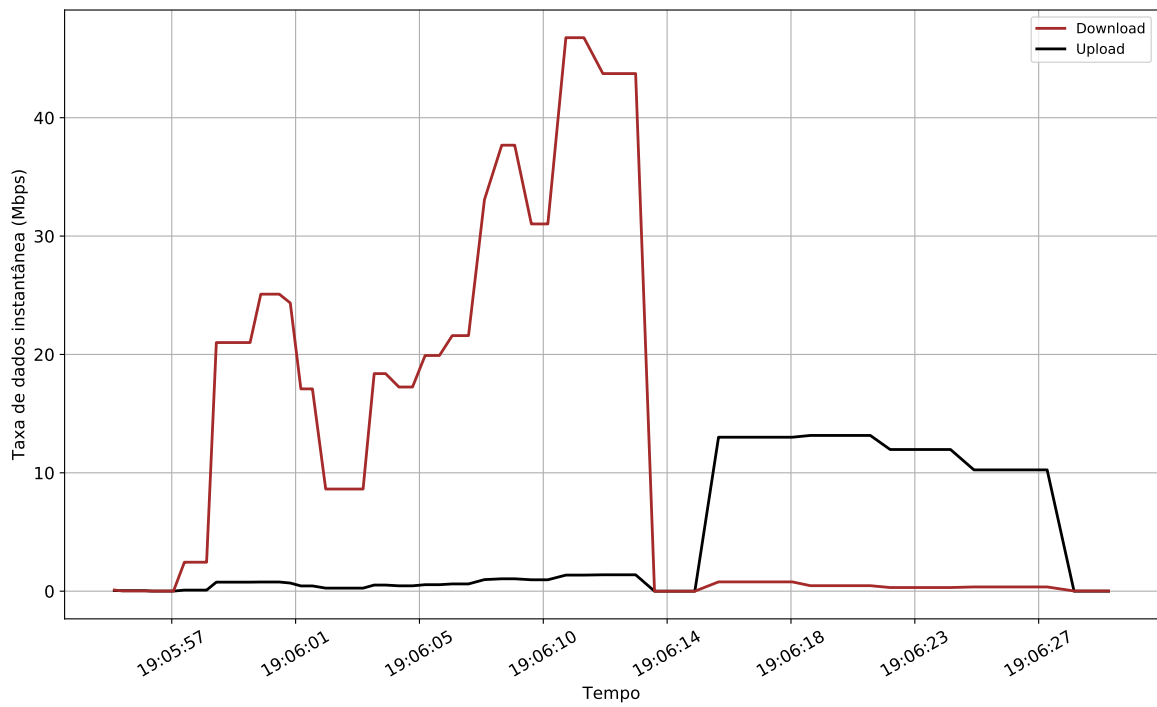
A fim de exemplificar os estados de transmissão do dispositivo móvel, na Figura 4.20 são apresentados as mudanças para os estados de tráfego de dados, da mesma forma que foi apresentado na Figura 4.12. É possível ver que neste trecho quando o dispositivo móvel está utilizando uma aplicação que demanda o uso constante de dados, a maior parte do tempo o dispositivo permaneceu no estado de tráfego de entrada e saída de dados, correspondendo à aproximadamente 75% do tempo, enquanto o período ocioso do celular permaneceu perto de 21,3%.

Por meio destas análises, é possível afirmar que as medições realizadas tanto no âmbito de *speedtest* quanto no âmbito de taxa instantânea são coerentes aos apresentados por outras ferramentas do mercado e são de importância significativa para o planejamento de uma rede. O usuário final está preocupado se a sua aplicação vai executar de forma plena ou haverá interrupções pela rede, independente de qual motivo seja (*intensidade do sinal*, *handoffs*, entre outros).

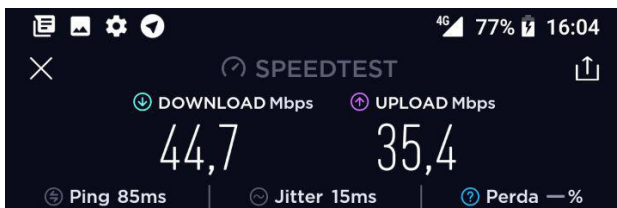
Com a obtenção destes dados, é possível correlacionar as informações de taxa instantânea com as posições geográficas, perfil do usuário, intensidade do sinal, e inúmeros outros parâmetros. Por



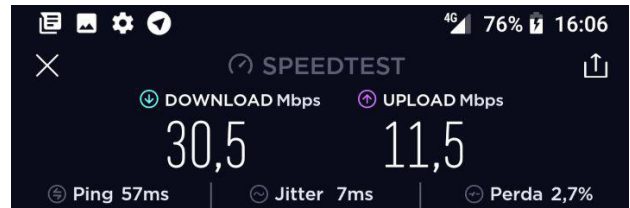
(a) Taxa instantânea - Cenário A



(b) Taxa instantânea - Cenário B



(c) Speedtest - Cenário A



(d) Speed test - Cenário B

Figura 4.16: Comparação *Speedtest* [35] e taxas instantâneas.

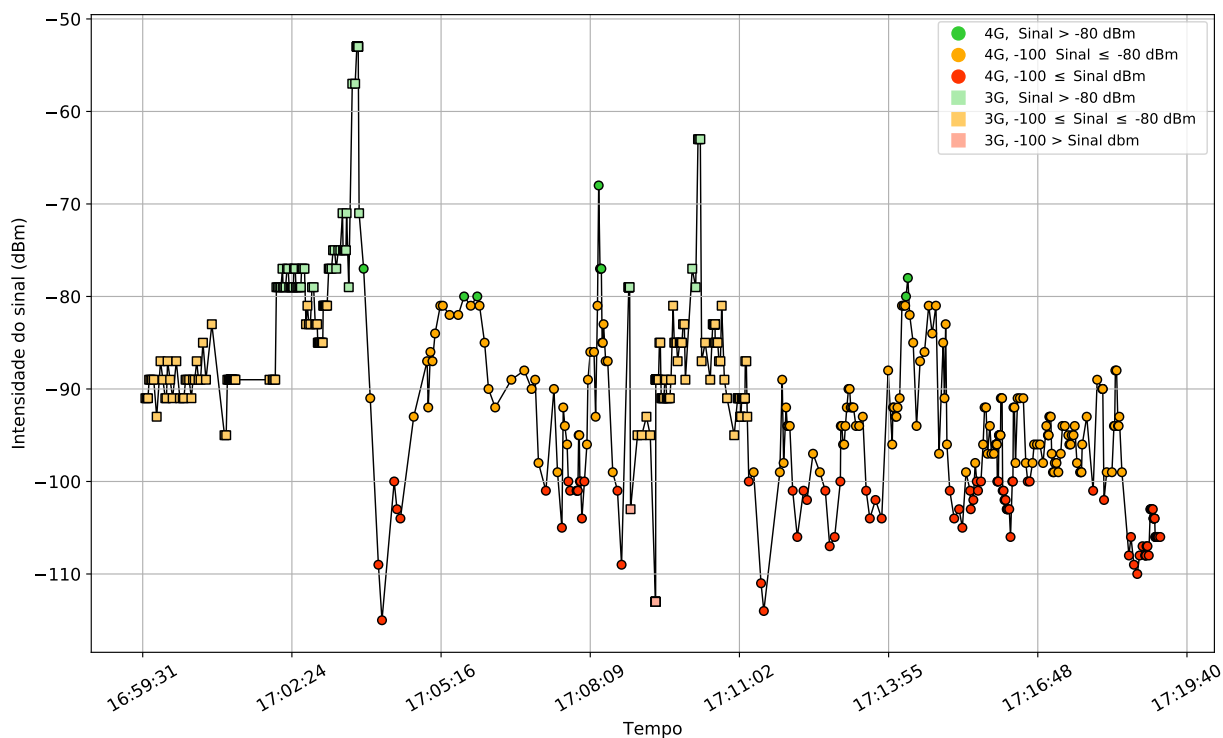


Figura 4.17: Intensidade do sinal no trecho Eixo Monumental, Brasília.

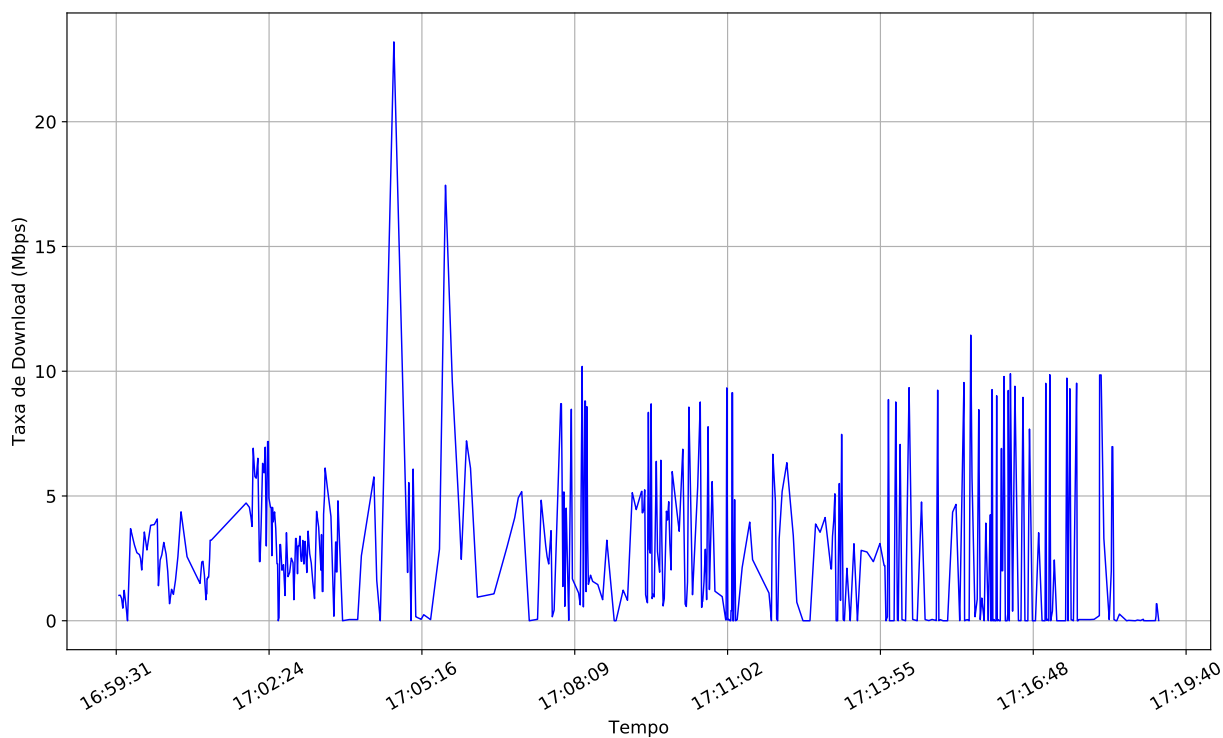


Figura 4.18: Taxa instantânea de *download* no trecho Eixo Monumental, Brasília.

exemplo, ao determinar uma certa região, é possível acompanhar desde o início até o final do dia de onde vem a maior demanda de dados. Nos horários de fluxo, é possível que esta demanda

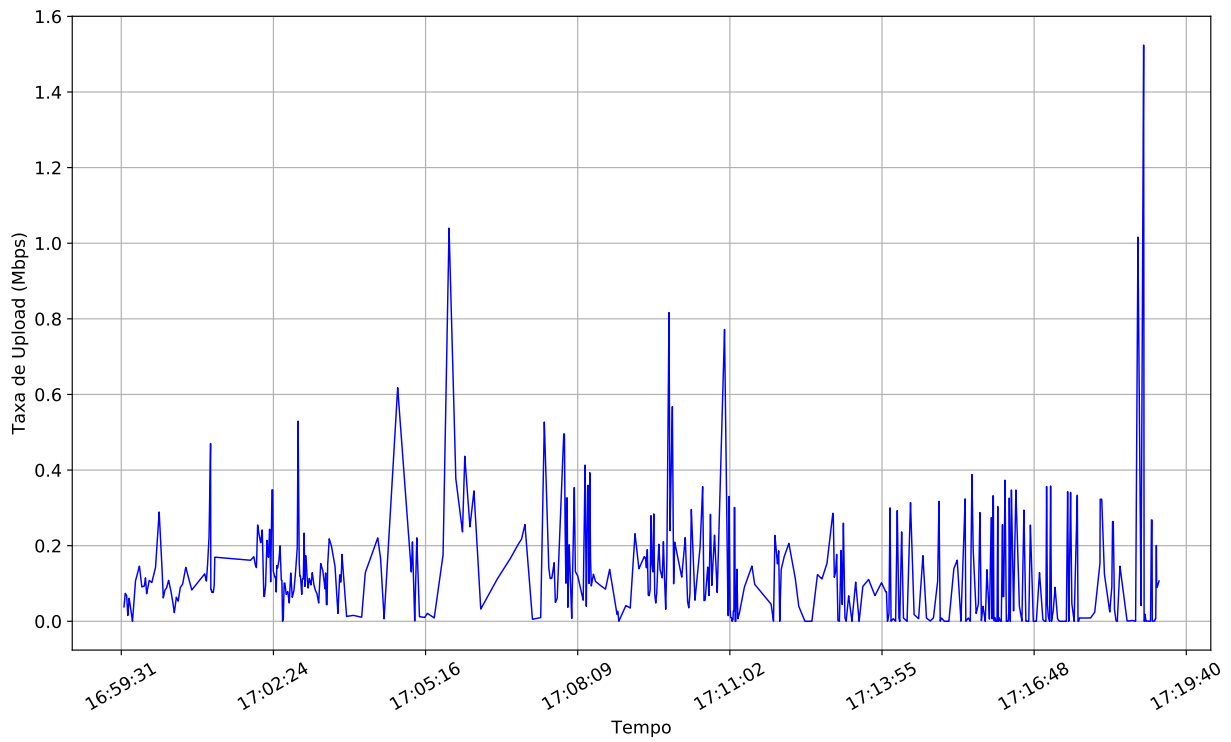


Figura 4.19: Taxa instantânea de *upload* no trecho Eixo Monumental, Brasília.

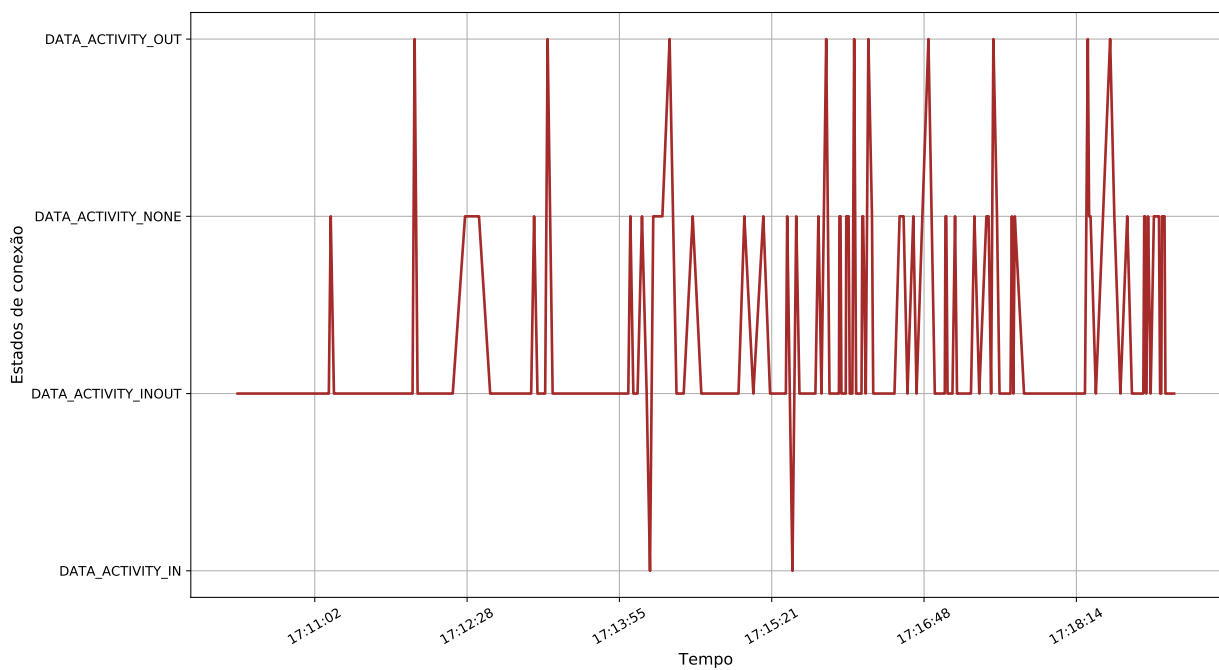


Figura 4.20: Mudança de estados de atividade durante o Trecho Eixo Monumental - Asa Norte, Brasília.

esteja concentrada nas ruas e menos nos edifícios, pois os usuários ainda estão se deslocando para o trabalho ou para casa.

4.3 Cobertura do sinal

Para mostrar algumas outras funcionalidades do sistema, foram feitas uma série de medições na região da Asa Norte, em Brasília. Os experimentos foram realizados para a rede 4G, com cinco aparelhos e quatro operadoras de telefonia móvel distintas, cujos nomes não serão divulgados neste trabalho e serão representadas pela sigla MNO (*Mobile Network Operator*) seguido da numeração destinada para a operadora, ou seja, MNO1, MNO2, MNO3 e MNO4.

A associação entre cada operadora e modelo de celular foi atribuída de forma aleatória e apresentada na Tabela 4.1. Para padronizar as condições de posicionamento entre os celulares, foi confeccionado um suporte (Figura 4.21), de forma a manter os dispositivos estabilizados e na mesma polarização durante todo o período do experimento.

Tabela 4.1: Modelos de celular e respectivas operadoras.

Modelos de celular	MNO
Motorola Moto G Play	MNO 1
Samsung Galaxy S7 Edge	MNO 1
Sony Xperia Z3	MNO 2
Samsung SM-G360BT	MNO 3
LG Nexus 5x	MNO 4



Figura 4.21: Suporte confeccionado para os celulares.

Além dessas medições, os dados coletados pelos restantes dos usuários da rede também são considerados nesta análise. É importante lembrar que diferentes níveis de potência são obtidos dependendo do estado do dispositivo móvel. Quando uma ligação está em andamento, por exemplo, o sistema celular aumenta significativamente a potência do canal para garantir certa qualidade na comunicação. Da mesma forma, quando o dispositivo móvel está trafegando dados na rede móvel, as potências emitidas pela célula e pelo celular são superiores comparativamente às do estado *idle*,

em que o dispositivo encontra-se sem atividade na rede.

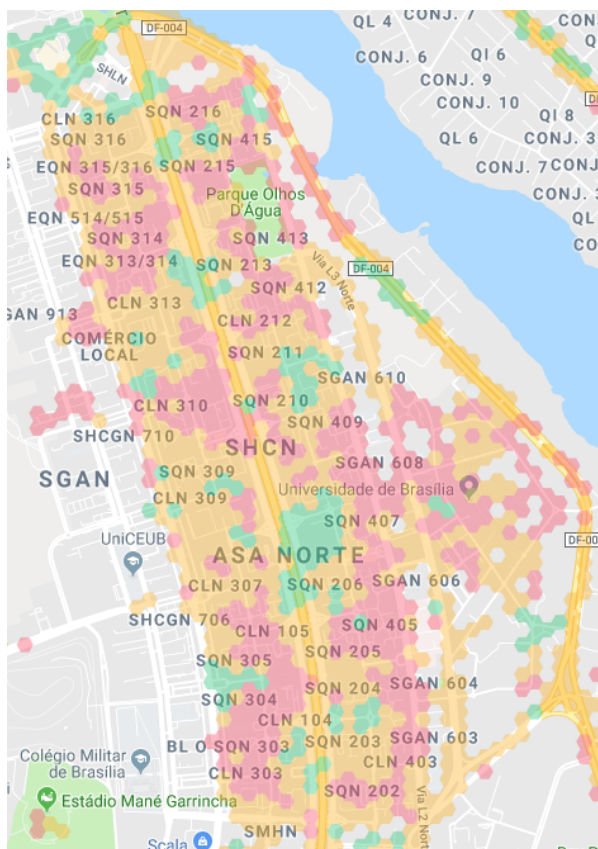
Durante o experimento realizado, os dispositivos coletaram informações da rede e as enviaram para o servidor a um período (configurável) de 2 segundos. Como as informações foram enviadas por meio da própria rede móvel do dispositivo celular, o resultados obtidos se referem à cobertura da rede de dados móveis e não podem ser utilizados para representar a cobertura do serviço de voz.

Nas Figuras 4.22 e 4.23 são apresentadas as telas dos aplicativos contendo as medições realizadas para cada operadora na rede 4G e 3G, respectivamente. Analisando as figuras, ficam evidentes as diferenças de cobertura, a intensidade do sinal entre as operadoras e também a delimitação da região na qual foram feitos os testes. No caso da MNO 4, dificilmente o dispositivo conectava-se na rede 4G, permanecendo na maior parte do tempo na rede 3G, como ainda ocorre atualmente.

É possível perceber que este tipo de visualização, agrupada em hexágonos, é útil para o usuário pois permite analisar de forma rápida e eficiente a qualidade do sinal em sua região de interesse. Claramente, por meio das figuras de cobertura 4G, a MNO 2 se destaca no número de hexágonos de boa qualidade, seguida das MNOs 3, 1 e 4, respectivamente. É importante ressaltar que a ausência de hexágonos não caracteriza necessariamente a falta de cobertura na região, pois pode haver uma predominância de outra tecnologia utilizada. Por exemplo, na Figura 4.23(b) onde é ilustrada a cobertura 3G da MNO 2, não significa que as regiões sem hexágonos não possuem cobertura do sinal, mas sim que nestes pontos a preferência do dispositivo móvel foi conectar-se na rede 4G, como pode ser visualizado na Figura 4.22(b). Nesse critério, o número reduzido de hexágonos visualizados na cobertura 3G representa um aspecto positivo para a operadora, visto que o dispositivo permaneceu conectado na cobertura 4G. Por outro lado, a ausência de hexágonos na cobertura 4G em regiões em que há hexágonos na cobertura 3G, pode significar a ausência da tecnologia 4G na localidade, visto que a maioria dos dispositivos móveis tem a preferência por conectar no 4G, como pode ser observado nas coberturas da MNO 4, Figuras 4.22(d) e 4.22(d). Ainda, visualizando a cobertura da operadora MNO 1 na Figura 4.23(a), é evidente que as regiões onde há mais hexágonos de cobertura 3G é justamente nas regiões de má qualidade da cobertura 4G, ilustrado na Figura 4.22(a).

Para inferir de forma numérica qual MNO possui uma cobertura melhor, é necessário a análise dos valores absolutos de média de cada hexágono. Como cada cor representa uma faixa de valores, pode-se cometer um equívoco ao associar qualidade somente às cores dos hexágonos, ou seja, não há informação suficiente para afirmar se os sinais dos hexágonos amarelos estão concentrados perto da extremidade superior (-80 dBm) ou perto da inferior (-100 dBm) da escala.

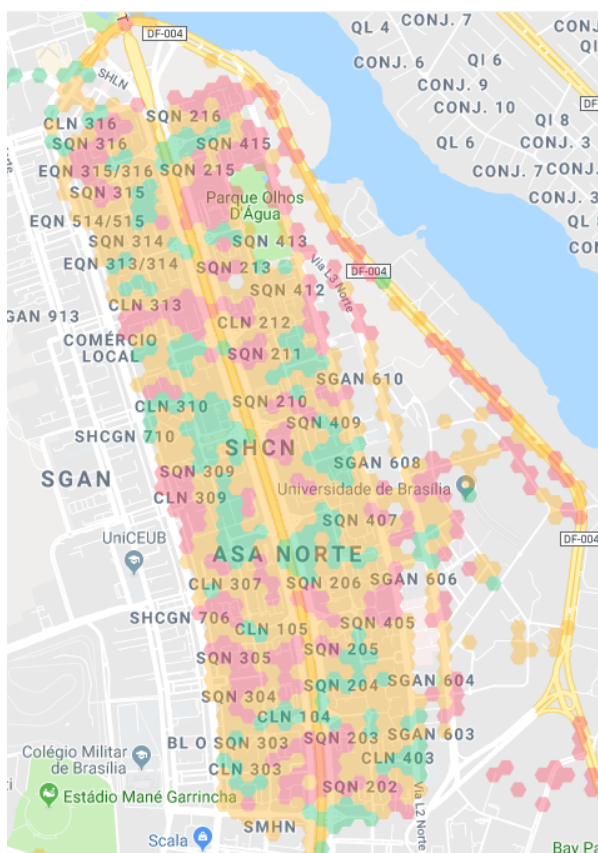
Para realizar uma análise mais detalhada da cobertura 4G, a função densidade de probabilidade (do inglês, *Probability Density Function - PDF*) é apresentada na Figura 4.24, da qual foi retirada a MNO 4 devido ao número reduzido de hexágonos obtidos até o momento. Por meio das PDFs, confirma-se que a MNO 2 apresentou uma intensidade de sinal superior à das outras duas operadoras, devido principalmente à sua forma menos dispersa e concentrada na região de -88 dBm, enquanto as MNOs 1 e 3 apresentaram uma cobertura com quantidade significativa de potência nas zonas mais inferiores, perto da região de -100 dBm.



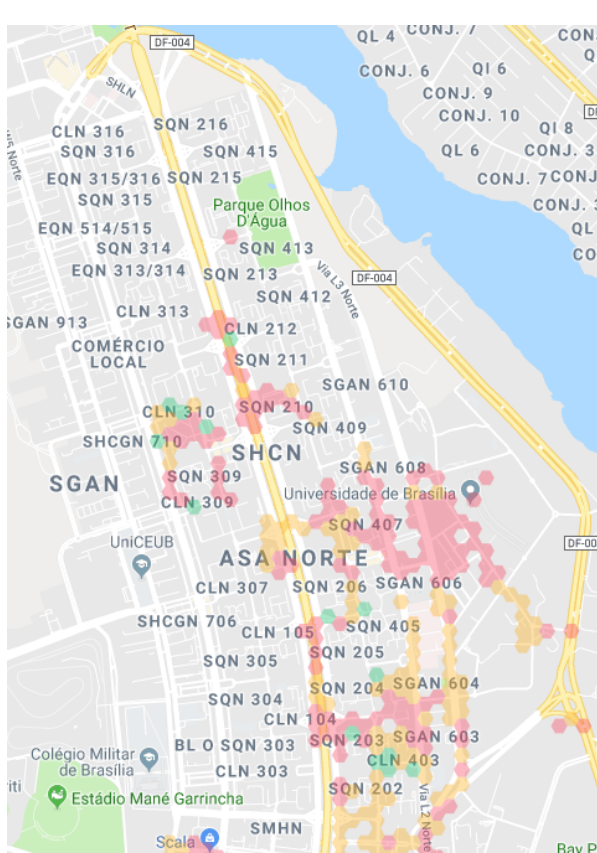
(a) Cobertura MNO 1



(b) Cobertura MNO 2

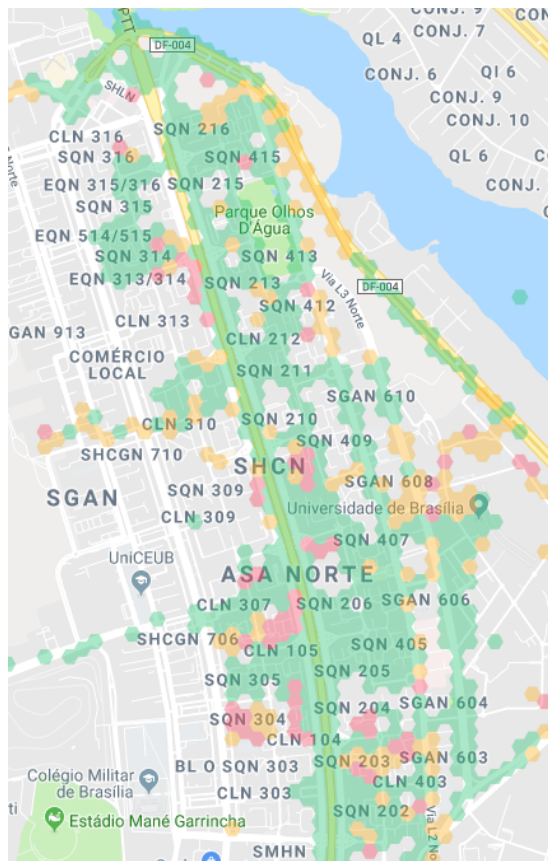


(c) Cobertura MNO 3



(d) Cobertura MNO 4

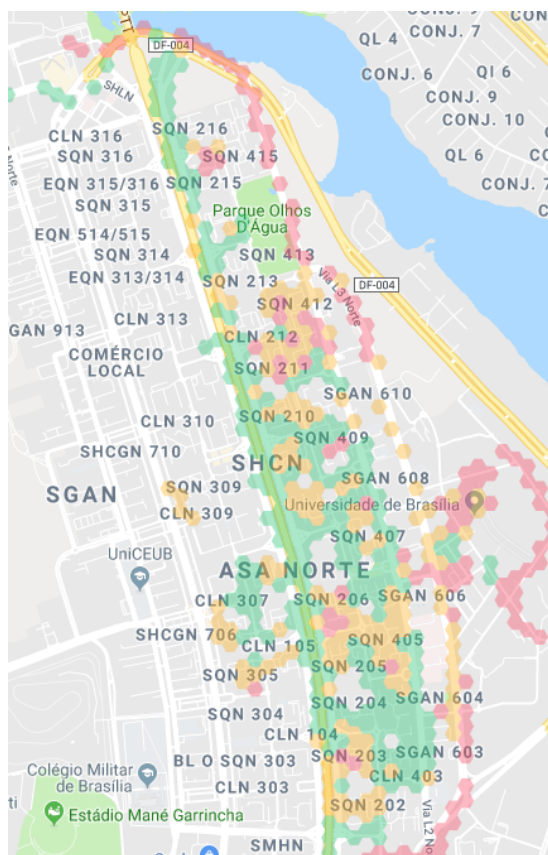
Figura 4.22: Dados obtidos para cobertura de rede celular 4G para diversas operadoras.



(a) Cobertura MNO 1



(b) Cobertura MNO 2



(c) Cobertura MNO 3



(d) Cobertura MNO 4

Figura 4.23: Dados obtidos para cobertura de rede celular 3G para diversas operadoras.

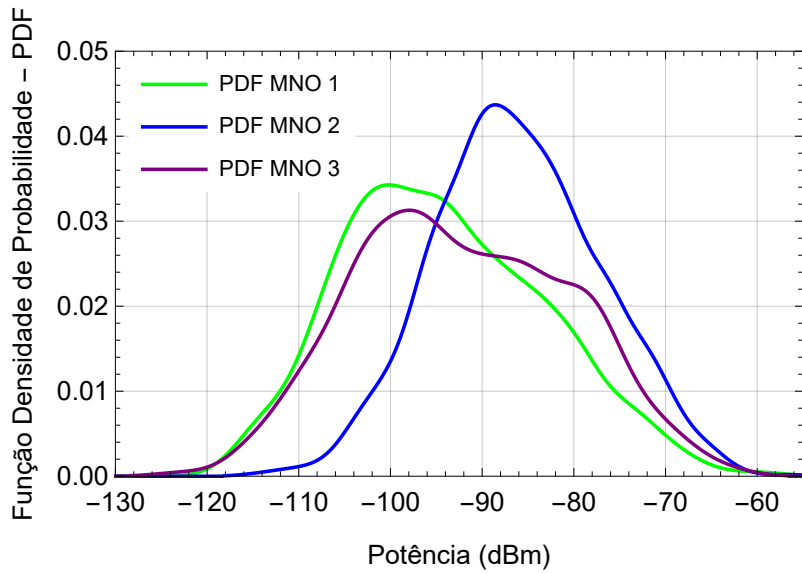


Figura 4.24: Gráfico das PDFs dos hexágonos obtidos por operadora.

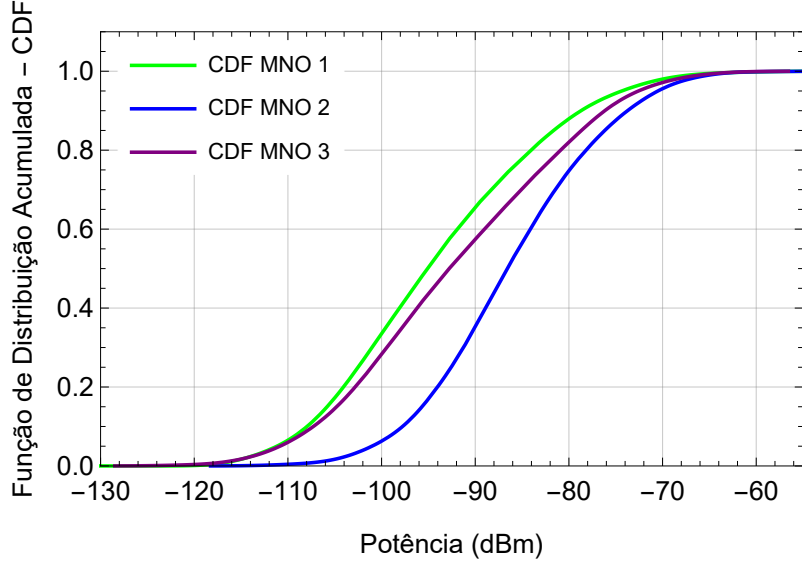


Figura 4.25: Gráfico das CDFs dos hexágonos obtidos por operadora.

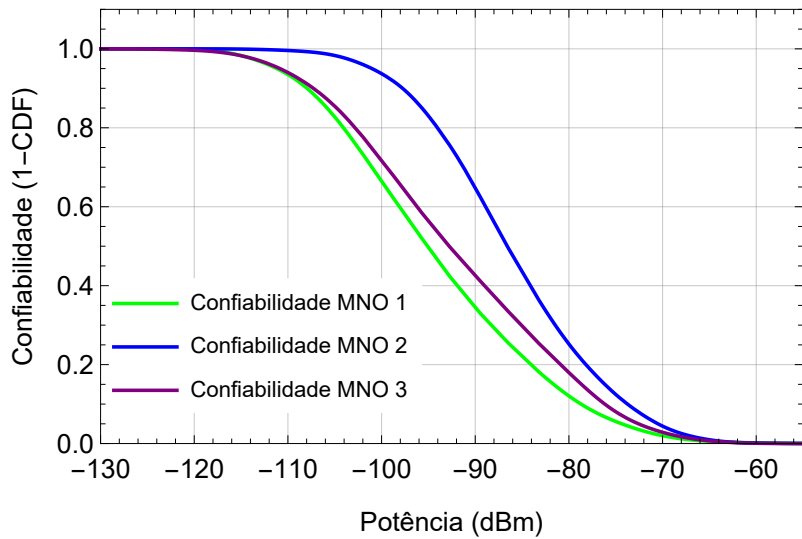


Figura 4.26: Gráfico da confiabilidade da intensidade do sinal obtido por operadora.

Como de costume no setor de telecomunicações, há um interesse maior em determinar a probabilidade de que um sinal esteja acima de um limiar (*threshold*), definido neste artigo como *confiabilidade*, o qual pode ser calculado como $R(x) = 1 - \text{CDF}(x)$, onde CDF é a função de distribuição acumulada (do inglês, *Cumulative Distribution Function - CDF*), apresentada na Figura 4.25. O gráfico da confiabilidade pode ser observado na Figura 4.26, onde fica claro, por exemplo, que a probabilidade de se estar em uma região de boa qualidade (> -80 dBm) é maior para a MNO 2, seguido das MNOs 3 e 1, respectivamente.

4.4 Cobertura classificada por conexões ativas

Por meio dos códigos de PCIs coletados quando o dispositivo está conectado na rede 4G, é possível delimitar a cobertura de uma célula. Dentro de um hexágono, é provável que o dispositivo encontre um canal de comunicação de várias células distintas e decida em qual célula é a melhor para se conectar. A fim de mostrar a abrangência de escolha prioritária de cada célula, é feito uma contagem dos valores de PCI para as medições de tecnologia 4G de célula conectada. Para cada hexágono é atribuído um valor de PCI correspondente ao PCI com a maior frequência relativa presente na região em questão.

O resultado é ilustrado nas Figuras 4.27, 4.28 e 4.29, que correspondem às coberturas classificadas por conexão ativas para a rede 4G das MNOs 1,2 e 3, respectivamente, nas quais cada cor de hexágono distinto representa um código de PCI e portanto, representa uma célula específica. Tal cobertura é sobreposta às informações georreferenciais das estações rádio base que, por não separar o tipo de tecnologia de cada célula, apresenta tanto as células que operam na rede 4G quanto as da rede 3G.

O cruzamento de informações da cobertura efetiva por meio do PCI e da cobertura de potência permite um entendimento maior de como a rede está estruturada. Por exemplo, é visível que as MNOs 2 e 3 possuem um número maior de estações rádio base. Por mais que nem todas as estações presentes nas figuras estejam funcionando com a rede 4G, o número de cores distintas realça que há uma sobreposição significativa entre as células, principalmente na MNO 2. Tal sobreposição pode ser positivo para a operadora, visto que cada célula pode cobrir regiões de sombra de outras, mas também pode ser negativo caso operem na mesma frequência, representando um possível cenário de interferência co-canal ou interferência adjacente.

A interferência co-canal é aquela que ocorre em consequência do reuso, por parte das células, de um mesmo conjunto de frequências em uma determinada cobertura. Já a interferência de canal adjacente é causada por sinais presentes em uma faixa de frequência adjacente à faixa do sinal desejado que provocam imperfeições no filtro do receptor, permitindo que frequências em faixas próximas à faixa requerida sejam recebidas. Para diminuir estes tipos de interferência deve-se espaçar as células de forma que permita o isolamento adequado entre elas e a correta alocação de canais entre as células.

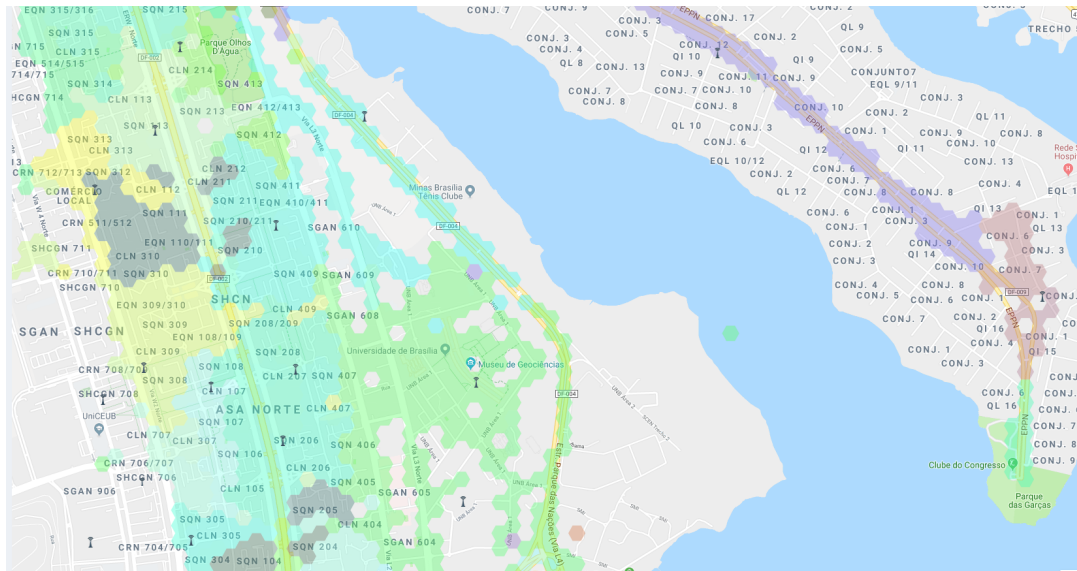


Figura 4.27: Cobertura classificada por conexões ativas - Rede 4G - MNO 1.

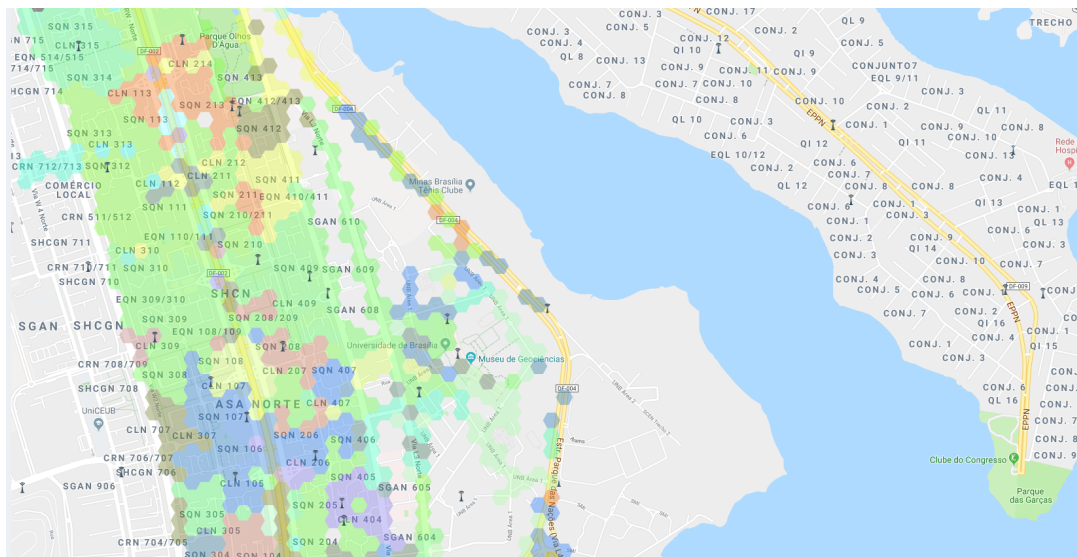


Figura 4.28: Cobertura classificada por conexões ativas - Rede 4G - MNO 2.

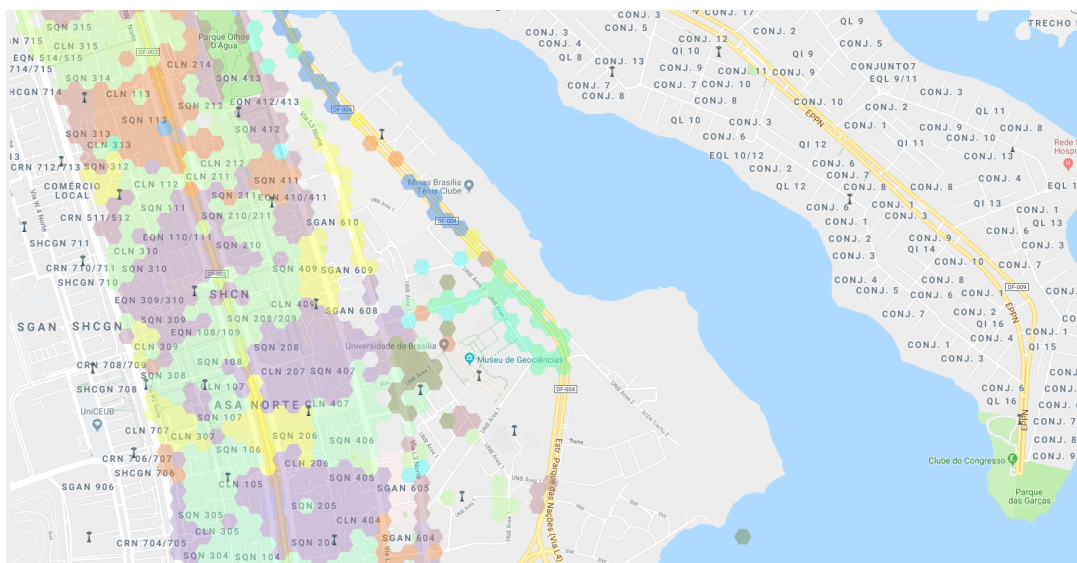


Figura 4.29: Cobertura classificada por conexões ativas - Rede 4G - MNO 3.

No caso da MNO 3, a cobertura ilustrada pode apresentar um cenário de risco para a operadora. É possível ver que há uma predominância de três códigos principais no início da Asa Norte, representados pelas cores amarelo, verde e roxo. Por mais que haja uma alternância entre as regiões dessas três cores, é plausível inferir que pode estar ocorrendo uma sobreposição de células com o mesmo código identificador. Tal situação, descrita nos capítulos anteriores, pode ser a fonte de erros na rede móvel da operadora.

Quanto à MNO 1, sua rede aparenta estar mais organizada no que diz respeito à cobertura de cada célula. Pelo número reduzido de células, é razoável que a escolha do dispositivo esteja limitada à célula mais próxima e que não haja muitas sobreposições de cobertura. Por outro lado, por não possuir uma diversificação comparada às restantes, a probabilidade de possuir regiões de sombra é maior, como apresentada na seção anterior 4.3.

Outro aspecto importante que podemos concluir por meio desta análise é o vazamento de cobertura devido aos mecanismos de propagação do sinal. Na cobertura apresentada pela MNO 1, Figura 4.27, há a presença de dois hexágonos roxos na região da Asa Norte, o primeiro localizado no centro da figura e o segundo mais abaixo, cuja célula de origem é localizada no Lago Norte, no canto superior direito da imagem. É comum que esses cenários ocorram em regiões próximas de lagos e rios, pois o sinal é refletido na água e abrange novas localizações. Para a rede celular isso pode ser visto como um problema, pois o dispositivo móvel acredita que a célula está próxima e o sinal é interrompido inesperadamente por alguma característica do meio. Esse é um dos motivos que vários usuários reclamam de quedas de ligação quando estão próximos às margens do lago, muitas vezes o dispositivo conecta em uma célula distante e não consegue realizar o *handoff* a tempo.

4.5 Voz sobre LTE

O Voz sobre LTE (VoLTE) permite a realização de chamadas de voz ou vídeo em alta definição (HD) através da rede de dados. A nova tecnologia permite que ligações sejam feitas operando dentro da frequência e do padrão LTE disponibilizado pela operadora. A proposta desta tecnologia é disponibilizar chamadas mais claras e limpas por meio de métodos de compreensão eficientes no canal de dados.

Além da voz em melhor qualidade, a tecnologia promete conexão mais rápida no tempo de chamada de ligação, consumo menor de bateria nos dispositivos móveis, integração com a rede *Wifi* e também recursos extras que as operadoras podem oferecer aos clientes, como por exemplo tradução simultânea.

No Brasil, a tecnologia ainda passa por um processo de desenvolvimento para atingir um patamar ideal de qualidade. Por se tratar de uma evolução do 4G, é preciso assegurar que as sobrecargas na rede não causem desconexões nas chamadas em andamento e que a cobertura desta tecnologia seja capaz de atender a demanda dos usuários. Hoje em dia, já é possível verificar, com certa frequência, a utilização desta tecnologia.

Caso o dispositivo móvel esteja em ligação utilizando VoLTE e entre em uma região de sombra de cobertura do 4G, a menos que a operadora consiga transitar a ligação para o canal de voz atual, é provável que ocorra uma queda de ligação.

Atualmente, somente alguns modelos específicos de dispositivo são compatíveis com a nova tecnologia. Utilizando o modelo Samsung S7 Edge, percebeu-se o funcionamento desta tecnologia em algumas regiões de Brasília. A plataforma ainda não possui dados suficientes para gerar um mapa de cobertura de funcionamento do VoLTE, mas o padrão de parâmetros já é reconhecido e, com o aumento de amostras, tal cobertura será viabilizada na forma de hexágonos, conforme ilustrado em outros exemplos neste trabalho.

Para exemplificar o padrão de reconhecimento, as Figuras 4.30 e 4.31 representam o cenário no qual o dispositivo encontra-se conectado exclusivamente na rede 4G e em movimentação. Na primeira figura, é possível perceber as transições de estado realizadas pelo dispositivo móvel. Neste caso, o dispositivo estava ocioso, no modo *idle*, e transitou para o estado em que o dispositivo começa a tocar, indicando a chegada de uma nova chamada. Após alguns segundos, o usuário atende a ligação e o dispositivo entra no estado ativo chamado *offhook*, podendo ser traduzido literalmente como "fora do gancho". Já na segunda figura, observa-se que, no momento em que o canal de ligação é aberto, o dispositivo entra em um estado constante de tráfego de dados bilateral, representado pelo estado *data activity inout*.

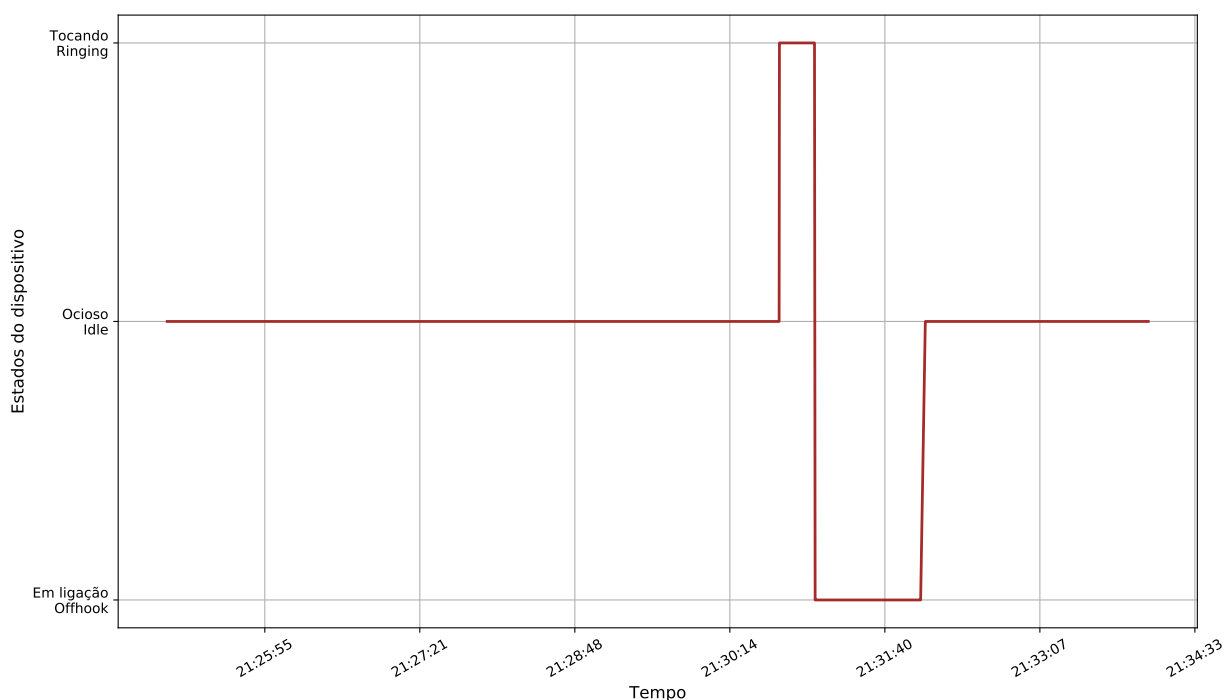


Figura 4.30: Estado do dispositivo móvel - VoLTE.

Os dados coletados de potência, apresentados na Figura 4.32, revelam que não há amplificação do sinal para que a comunicação via VoLTE ocorra, diferentemente de como ocorre no canal de voz atual. Dessa forma, basta que haja cobertura 4G suficiente em uma região para que o dispositivo seja capaz de realizar uma ligação por meio do VoLTE.

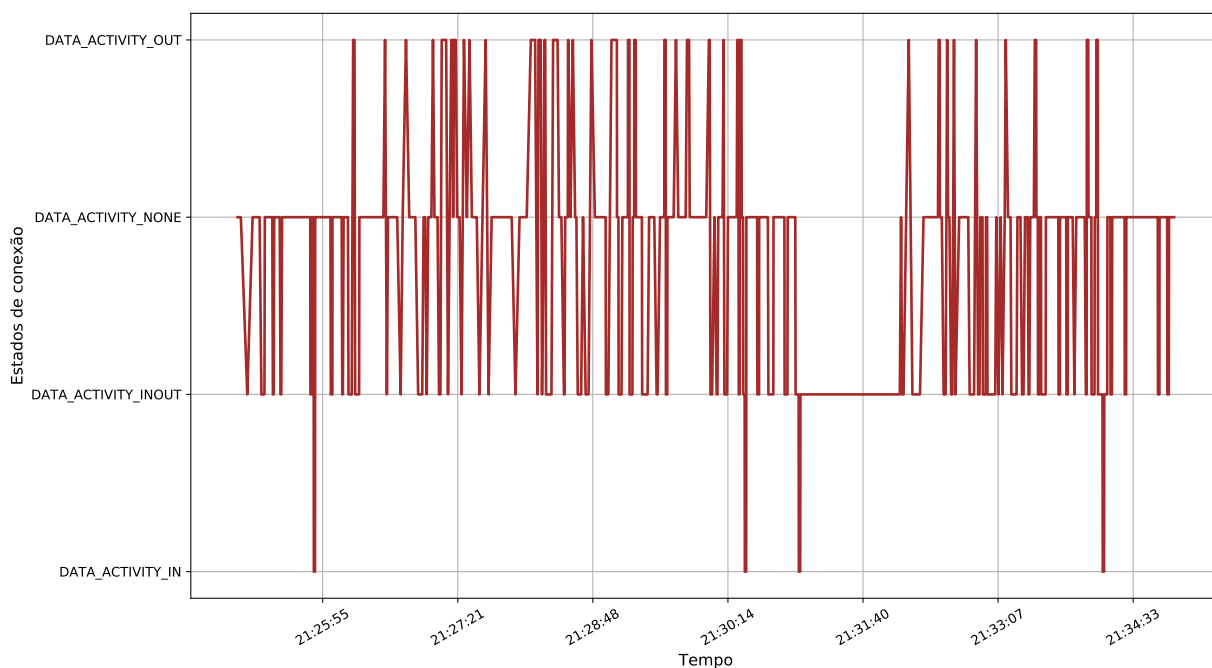


Figura 4.31: Estado de tráfego de dados do dispositivo móvel - VoLTE.

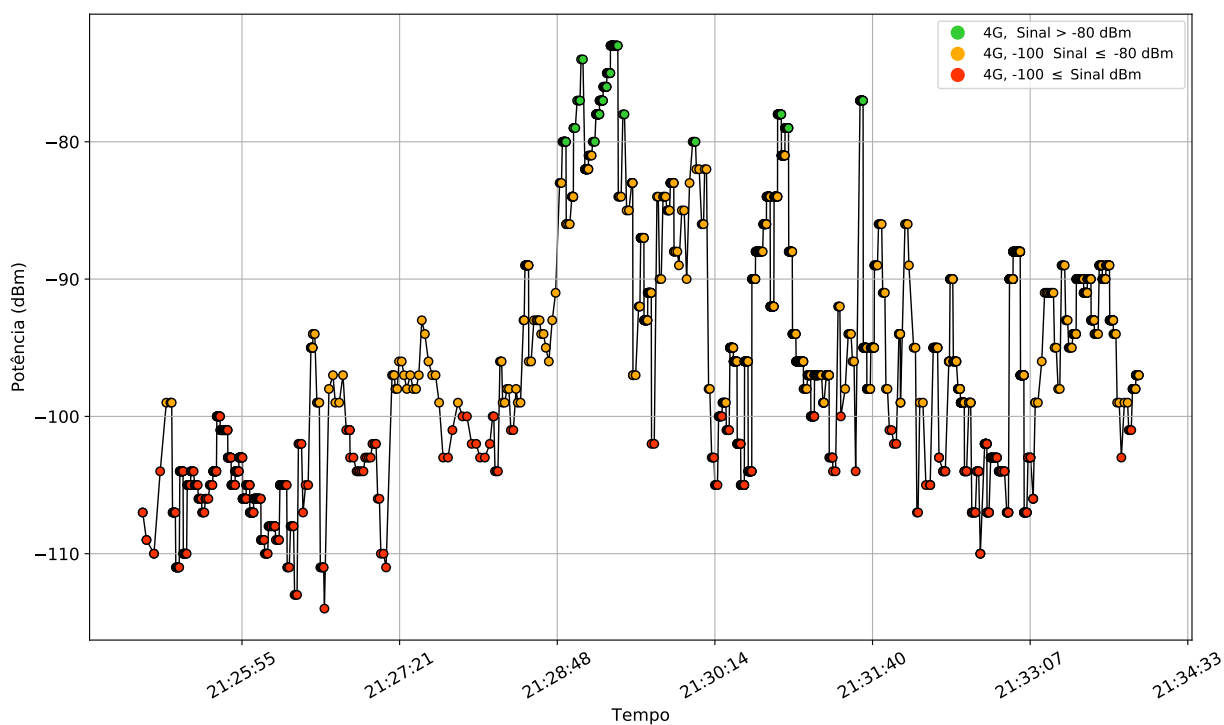


Figura 4.32: Intensidade do sinal - VoLTE.

Na Figura 4.33, durante o percurso de deslocamento, é ilustrado o cenário no qual o dispositivo móvel realizou *handoffs* para outras células sem interromper o processo de ligação. Esta é uma característica sensível desta tecnologia, pois o roteamento da ligação é feito na camada de rede e a transação de célula deve ser o mais suave possível para o usuário.

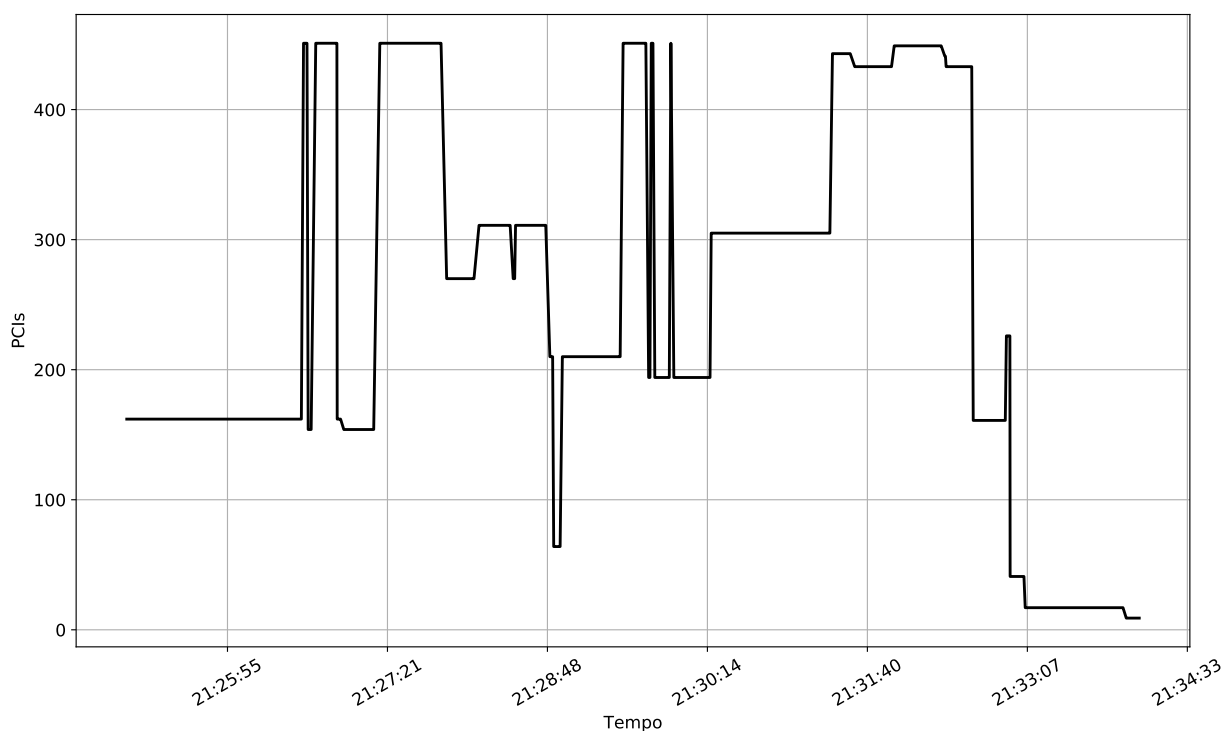


Figura 4.33: Código de células conectadas - VoLTE.

Quanto ao tráfego de dados, é possível analisar na Figura 4.34 que a tecnologia utiliza poucos recursos do canal durante a ligação. É visível que o tráfego aumenta durante o período ativo da ligação em comparação a outros momentos, mas em termos absolutos, o tráfego permanece em média abaixo de 40 kbps, tanto no *download* quanto no *upload*.

4.6 Uso de dados

Por meio dos dados coletados de cada usuário, é possível traçar o comportamento do uso de dados para cada região geográfica, podendo esta ser determinada por hexágonos ou qualquer região de interesse. Tal estudo é de importância significativa para as operadoras pois permite entender o perfil de cada região geográfica e planejar a rede conforme a demanda real dos usuários. Em horários de trabalho, é comum que centros comerciais e financeiros possuam uma demanda maior por dados comparados a regiões domiciliares. Da mesma forma, correlacionar o uso de dados por perfil do cliente (idade, trabalho, horários de pico de uso) pode gerar benefícios aos usuários para que possam encontrar um plano que os atenda melhor.

Quando se trata das tecnologias recentes e das próximas gerações (4G e 5G), o desejo do usuário é resumido em taxa efetiva de dados. A dinâmica do uso de dados é determinada pela camada de aplicação, podendo funcionar desde constantes e pequenos fluxos até *bursts* rápidos com significativo volume de dados. Dependendo do perfil de usuário de cada operadora e da região geográfica analisada, é possível inferir o peso de cada cenário mencionado e suas possíveis implicações na arquitetura de rede.

- Verde (Uso relevante de dados): Taxa média de dados maior que 200 Kbps;
- Amarelo (Uso mediano de dados): Taxa média de dados maior que 100 e menor que 200 Kbps;
- Vermelho (Uso pequeno de dados): Taxa média de dados menor que 100 Kbps;

À medida que o sistema venha obter mais medições realizadas pelos usuários, a divisão das categorias pode ser determinada com maior precisão. Como ilustrado na Figura 4.35, é possível obter a mesma forma de visualização para outros resultados referentes ao uso de dados.

Para um melhor entendimento deste padrão, o volume de dados por hexágono é apresentado nas Figuras 4.36, 4.37 e 4.38 para as MNOs 1, 2 e 3, respectivamente. Os hexágonos foram ordenados pelo volume de tráfego no canal de *download*, representado pela linha roxa, e o seu respectivo volume de tráfego no canal de *upload* em azul. É visível que dentre as três operadoras a que apresentou maior uso de dados, na região delimitada e no período analisado, foi a MNO 1, com o maior hexágono alcançando o patamar aproximado de 12 gigabits para o canal de *download* e 9 gigabits para o canal de *upload*.

Em alguns hexágonos, verificou-se que o volume de dados no canal de *upload* superou o volume no canal de *download*. Esse comportamento não é comum em uma rede. Na verdade, ao observar o volume total, hexágonos que possuem menos de 100 megabits trafegados não representam de forma consistente a rede. Isso ocorre pelo número reduzido de usuários que utilizam o aplicativo. Conforme mencionado nos capítulos anteriores, com o objetivo de implementar os conceitos de *crowdsourcing*, é fundamental que exista uma quantidade significativa de usuários para representar o uso da rede de uma forma geral.

Ainda com o número reduzido de medições, é possível inferir certas características ao observar o conjunto completo de hexágonos. Considerando os resultados obtidos para a MNO 1, obtém-se uma média de 202,72 megabits por hexágono no canal de *download* e 38,51 megabits para o canal de *upload*. Ou seja, na média, o volume de dados no canal de *download* representou 5,26 vezes mais o volume de dados no canal de *upload*.

Uma outra forma de analisar o uso de dados na rede é considerar o conjunto inteiro de medições sem dividi-las em regiões geográficas (hexágonos). Frequentemente, as operadoras tem interesse em entender como se dá o tráfego dos usuários, tanto no aspecto temporal (frequência de uso de dados) quanto no aspecto quantitativo, de volume de dados gerado. Para traçar o primeiro cenário, as Figuras 4.39 e 4.40 representam a função densidade acumulada para a ocorrência de tráfego de dados nos sentidos *download* e *upload* para a tecnologia 4G. O eixo horizontal representa a taxa instantânea obtida pelo aplicativo e o eixo vertical a probabilidade acumulada de encontrar tal taxa. Ou seja, o que está sendo mostrado é a probabilidade de que o dispositivo utilize uma certa taxa instantânea.

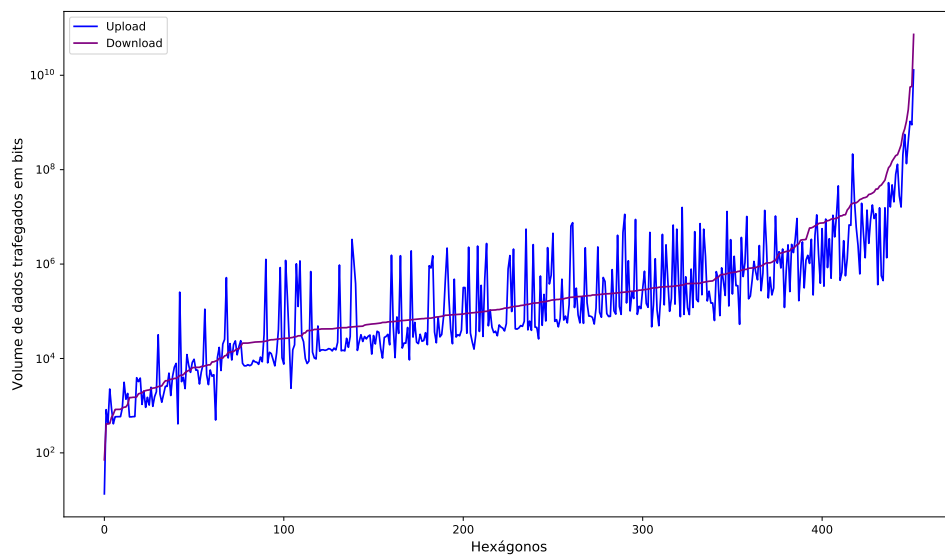


Figura 4.36: Volume de dados trafegados por hexágono, MNO 1.

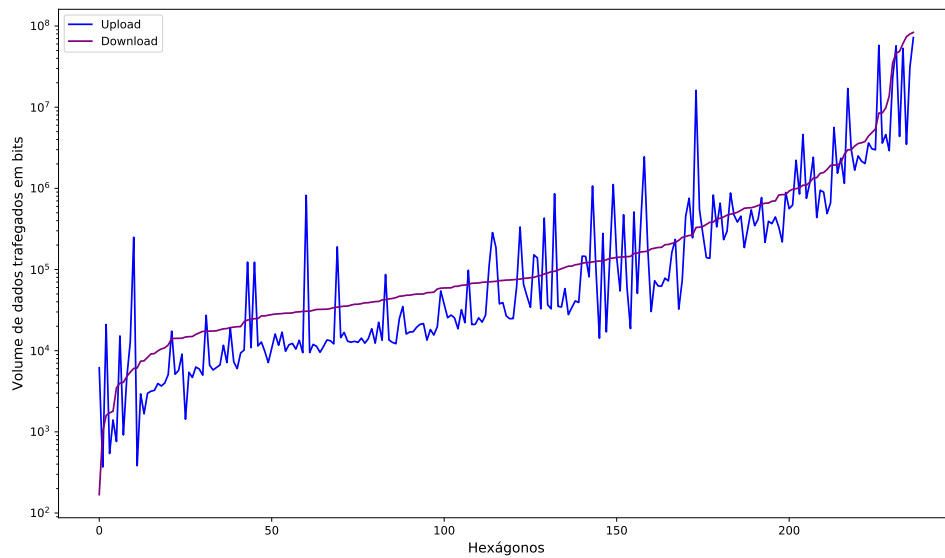


Figura 4.37: Volume de dados trafegados por hexágono, MNO 2.

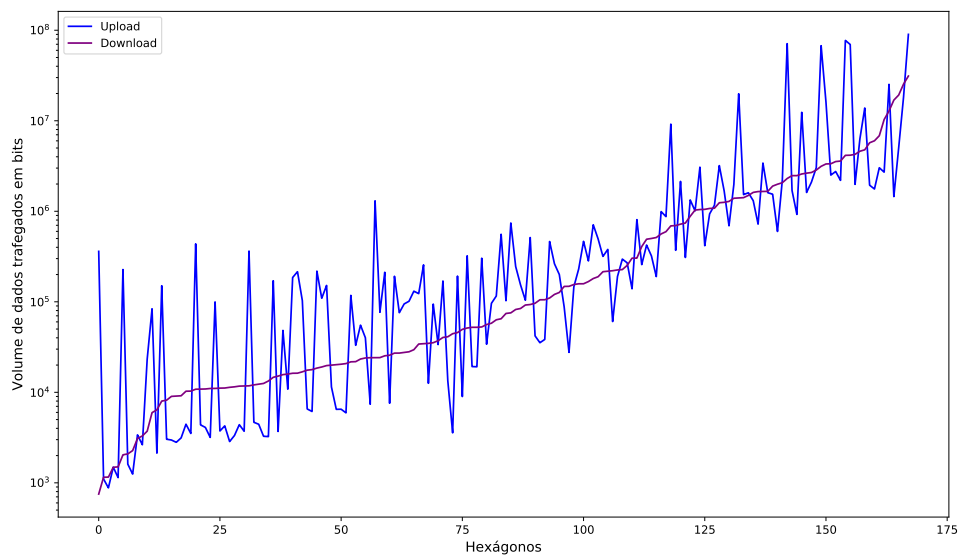


Figura 4.38: Volume de dados trafegados por hexágono, MNO 3

Por exemplo, na Figura 4.39, observa-se que aproximadamente 50% dos casos a taxa instantânea obtida pela aplicativo no canal de *download* é igual ou inferior a 10 kbps. Tal tráfego é característico de aplicações leves ou até mesmo oriunda da rede de controle da própria operadora. Ainda neste cenário, aproximadamente em 90% dos casos a taxa encontra-se menor ou igual a 100 kbps. Ou seja, na maior parte do tempo em que o dispositivo está gerando algum tráfego no canal de *download*, tratam-se de aplicações mais leves que não demandam muito do canal.

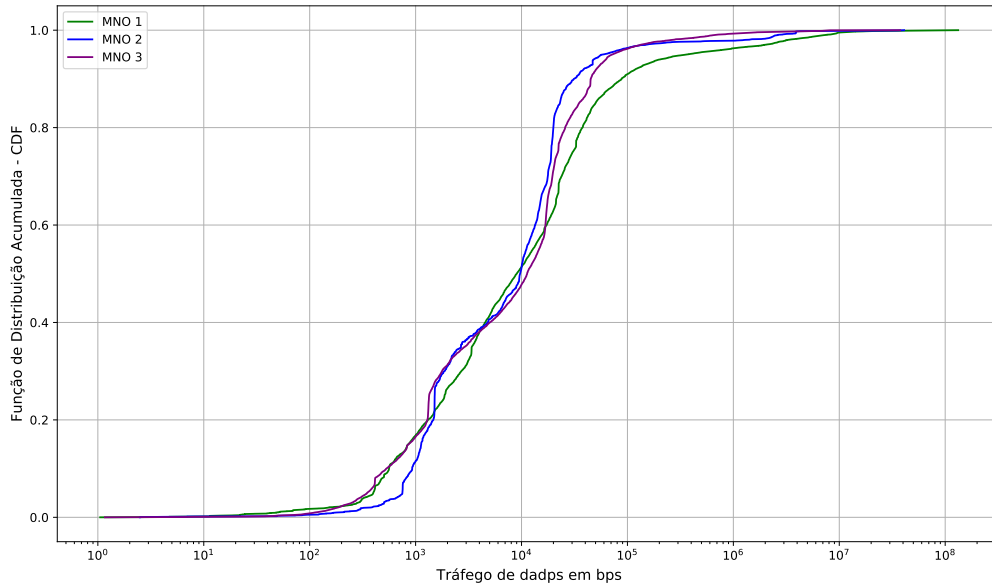


Figura 4.39: Função Densidade Acumulada para a ocorrência do tráfego de dados no sentido *download* para as MNO 1,2,3.

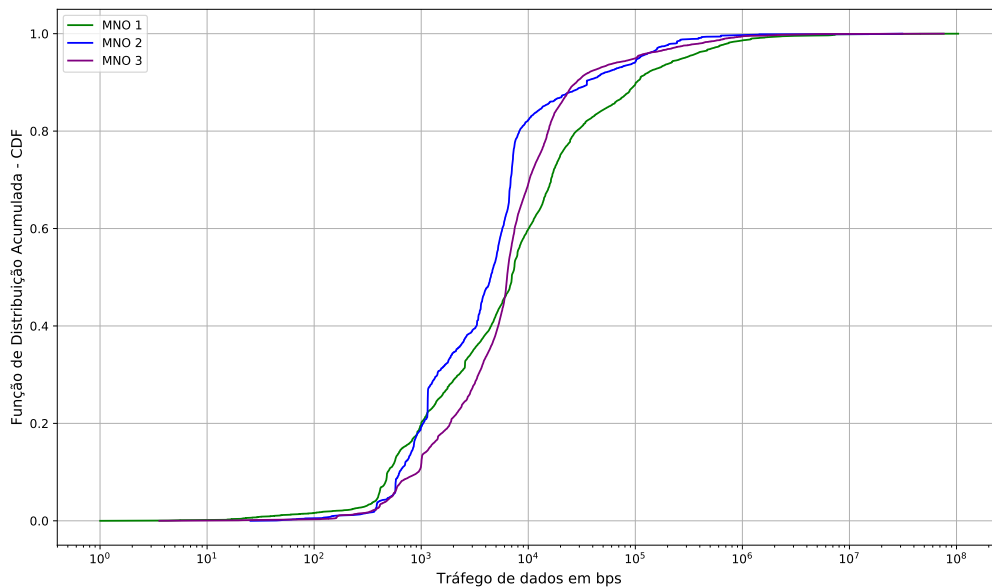


Figura 4.40: Função Densidade Acumulada para a ocorrência do tráfego de dados no sentido *upload* para as MNO 1,2,3.

Da mesma forma, na Figura 4.40 é apresentado o cenário para o canal de *upload*. É possível observar uma divergência um pouco maior entre as três curvas em comparação ao canal de *download*, com a MNO 2 possuindo uma maior concentração em taxas inferiores. Por exemplo, a ocorrência de taxas inferiores a 10 Kbps foi de aproximadamente 82% dos casos para a MNO 2, enquanto este valor é de 60% para a operadora MNO1. De uma forma geral, o resultado se mantém constante com o apresentado para o canal de *download*, ou seja, aproximadamente 90% dos casos a taxa encontra-se menor ou igual a 100 Kbps.

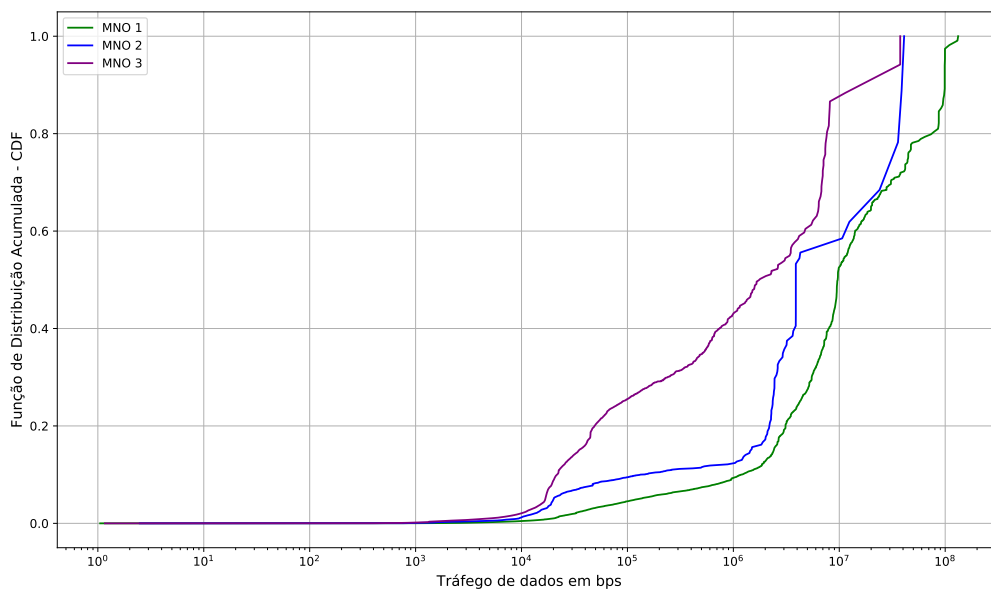


Figura 4.41: Função Densidade Acumulada para a significância do tráfego de dados no sentido *download* para as MNO 1,2,3.

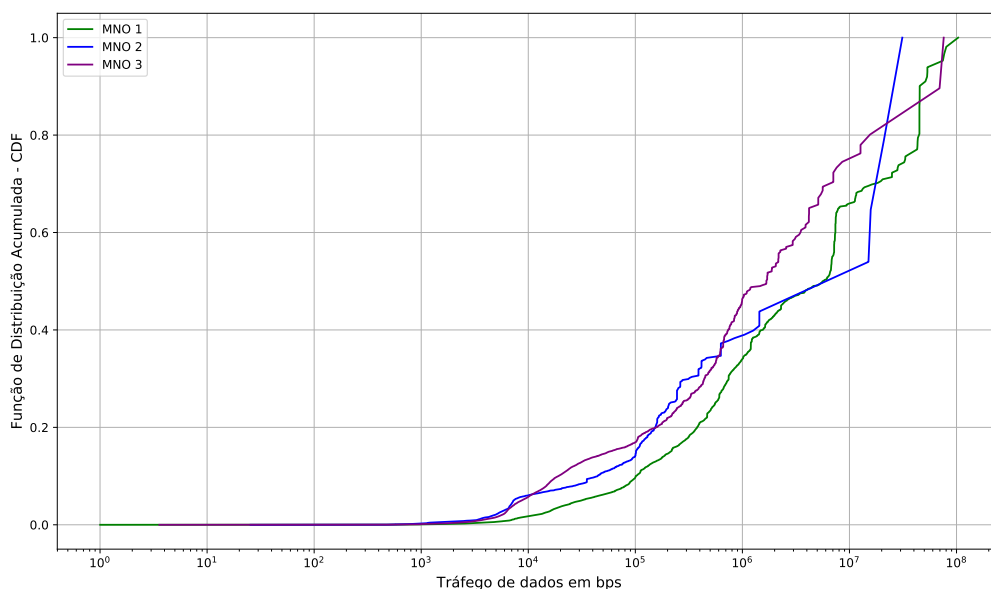


Figura 4.42: Função Densidade Acumulada para a significância do tráfego de dados no sentido *upload* para as MNO 1,2,3.

Entretanto, para o usuário final, muitas vezes a percepção de má qualidade surge exatamente nesta pequena proporção do tempo em que é demandado um fluxo maior de dados. Por exemplo, ao considerar um dia comum de um usuário, a porcentagem do tempo em que ele utiliza aplicações de alto consumo de dados (vídeos, transferências de arquivos, entre outras) é muito inferior ao tempo ocioso do celular. Porém são nestes momentos que o usuário realmente necessita utilizar os recursos do canal para os fins necessários.

Para as operadoras, o grande impacto no canal está na ocorrência deste pequeno grupo, caracterizado por grandes *bursts* em períodos curtos de tempo, comumente gerado por aplicações de vídeos, jogos, entre outros. Nas Figuras 4.41 e 4.42 é ilustrada a função probabilidade acumulada para a significância do volume total gerado pela rede. Ou seja, no limiar mencionado anteriormente, de 100 Kbps, o volume de dados gerado por estes dados representam menos de 20% para as três operadoras analisadas. Ao juntar as duas análises, significa que aproximadamente 90% do tempo em que o aplicativo está utilizando a rede não representa sequer 20% do volume de dados utilizado pela rede. Na verdade, é mais simples se considerarmos o cenário oposto, onde pelo menos 80% de todo o volume da rede é gerado por aproximadamente 10% do tempo. No extremo, ao considerar as taxas mais relevantes, maior que 1 Mbps, podemos observar que, no caso do canal de *download* para a MNO 1, representa aproximadamente 4% das ocorrências. Entretanto, ao analisar o impacto no volume, tais ocorrências representam 65% do volume total da rede. No caso de taxas superiores a 10 Mbps, representam menos de 1% para todas as operadoras e são responsáveis por 52%, 58% de todo o volume gerado para as MNOs 1 e 2.

De uma forma geral, observa-se que no quesito uso de dados o foco devem ser as grandes taxas instantâneas que ocorrem em curtos momentos. O usuário final está preocupado se a sua aplicação vai funcionar sem grandes latências e atrasos, e na grande maioria, tais aplicações são representadas por aplicativos de vídeo, música, jogos online, entre outros. O cruzamento de informações deste grupo com os outros parâmetros obtidos no sistema tem o seu devido valor para o planejamento de rede. Por exemplo, determinar qual região geográfica e os horários mais comuns para este tipo de fluxo, assim como o perfil de cliente (idade, profissão, entre outros) e o cenário de locomoção (parado, em movimento) são fatores que ajudam a determinar as características da rede a fim de proporcionar uma experiência melhor ao usuário.

4.7 Conclusão

Neste capítulo foram apresentadas amostras das análises que podem ser realizadas por meio da plataforma proposta. O uso de hexágonos no mapa de cobertura e a capacidade de gerar imagens com qualquer informação coletada são diferenciais em comparação a outros sistemas. Com a adoção deste padrão, os usuários e órgãos responsáveis podem analisar os dados obtidos em diferentes níveis de detalhamento, de uma forma visual e interativa.

A potência obtida pelo aparelho móvel por si só não representa uma informação robusta, está passível de análises incorretas sem o devido conhecimento dos outros parâmetros do meio, como a localização, velocidade, distância entre a estação rádio-base, entre outros. Com a junção de

vários parâmetros coletados, a plataforma se torna então uma boa candidata para realizar análises preliminares do canal que possam indicar possíveis falhas de cobertura.

O mapeamento do perfil dos usuários em relação ao uso de tráfego de dados é fundamental para o setor de telecomunicações. A utilização de *speed tests* é uma proposta válida para aferir qualidade da rede mas gera um custo alto para o cliente em relação ao volume de dados gerado. Uma das grandes diferenças deste projeto é a constante medição de taxa instantânea do canal, o que permite caracterizar o uso de dados de uma forma mais abrangente e realista.

Outro aspecto importante diz respeito à possibilidade dos resultados obtidos neste trabalho serem gerados para qualquer período específico de tempo, permitindo que o sistema acompanhe o avanço de determinadas regiões após, por exemplo, manutenções ou investimentos realizados pela prestadora de serviço. Por fim, é importante ressaltar que as análises resultantes deste projeto estão em constante adaptação e se tornam cada vez mais realistas e robustas à medida que o número de usuários do sistema cresce.

Capítulo 5

Considerações Finais

Este trabalho apresenta um sistema para medição e análise de parâmetros de qualidade de redes celulares sob a experiência do usuário. Com o intuito de promover uma plataforma *crowd-sourcing*, por meio de um aplicativo instalado em *smartphones* com sistema operacional *Android*, a plataforma tira proveito da difusão desse tipo de dispositivo para inferir, em larga escala e baixo custo, análises sobre a rede móvel em diferentes regiões do mundo.

Foram apresentados o cenário atual de qualidade de redes móveis na perspectiva da ANATEL, o seu regulamento vigente e o uso de dispositivos móveis dentro deste contexto. Com a Consulta Pública Nº 29, a ANATEL busca melhorias no processo de aferição de qualidade, deixando aberta ao público geral submissão de cometários e sugestões para melhorar um dos setores que mais geram reclamações no órgão de defesa do consumidor.

O uso de dispositivos móveis para ajudar neste contexto é promissor e realista, como apresentado nos artigos mencionados e nos resultados obtidos neste projeto. Trata-se de uma opção de baixo custo e larga escala que promove benefícios para todos os participantes do setor de telecomunicações (clientes, prestadoras de serviço e órgãos reguladores).

O funcionamento do sistema é detalhado, apresentando os parâmetros obtidos pelo aplicativo e os seus diferenciais em relação a aplicações similares disponíveis no mercado. A estrutura disponibilizada nos servidores segue a tendência mais recente de desenvolvimento e promete flexibilidade, robustez e segurança. Como desenvolvimento futuro, serão contemplados outros sistemas operacionais, como por exemplo o *iOS*.

Há algumas funcionalidades do aplicativo que ainda estão em desenvolvimento, a exemplo da coleta de outros parâmetros de rede, como as quedas de ligação. Por meio deste parâmetro, será possível mapear os motivos e regiões nas quais houve quedas ou interrupções no serviço de voz. Outra implementação em curso é um canal direto com o usuário da rede para que ele possa deixar, de forma proativa, algum comentário ou reclamação a respeito do sinal em uma determinada região.

Foi apresentada uma pequena porção da gama de possíveis análises a serem realizadas. É difícil e, na maioria dos casos, ineficiente a análise separada dos dados obtidos. Porém, quando os parâmetros de rede são analisados de forma conjunta às informações do meio em que o dispositivo

se encontra, inferências mais robustas podem ser extraídas do sistema.

No contexto tecnológico atual, as informações sobre o cliente são de extremo valor para as empresas fornecedoras de serviço móvel. Entender o perfil de cada usuário no que tange a tráfego de dados, rotinas, horários de maior uso, entre outros, podem ajudar significativamente a rede a se adaptar.

Com a ferramenta apresentada neste trabalho, abrem-se portas para que a inovação tecnológica comece a aparecer no setor de telecomunicações. É uma plataforma ainda em desenvolvimento e que apresentará resultados cada vez mais robustas à medida que o número de usuários aumente. Com os devidos ajustes e apoio dos órgãos responsáveis do setor, a proposta soa promissora para atender às atuais demandas do setor de telecomunicações e promover desenvolvimento tecnológico.

Os trabalhos futuros do projeto englobam aspectos técnicos e estratégicos, apresentados a seguir:

- Desenvolvimento de aplicativo para sistema operacional iOS.
- Desenvolvimento e implementação de técnicas de *big data* nos servidores.
- Pesquisa e desenvolvimento dos dados obtidos à medida que a base de usuários cresce.
- Inserção de novos parâmetros de rede (*jitter*, latência, entre outros).
- Criação de indicadores técnicos de qualidade.
- Melhorias no processo de Ranking e classificação de prestadoras de serviço móvel.
- Criação e desenvolvimento de filtros, relatórios e processos para permitir registro de ocorrências, por parte dos usuários, nos órgãos responsáveis pela defesa do consumidor e na ANATEL.

Referências Bibliográficas

- [1] Consumidor.gov.br, Junho 2018 [Online]. Disponível em: <https://www.consumidor.gov.br/>
- [2] Saymon Della Flora, William Lautenschläger, Roberto Costa Filho, Valter Roesler, “Um método para análise comparativa de qualidade entre operadoras de serviço de dados da rede celular.”, 2016, Instituto de Informática - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- [3] Mads Lauridsen, Ignacio Rodriguez, Lars Moller Mikkelsen, Lucas Chavarria Gimenez, Preben Mogensen, “Verification of 3G and 4G Received Power Measurements in a Crowdsourcing Android App.”, 2016, IEEE Wireless Communications and Networking Conference.
- [4] Mohanad Mohammed Abdulkareem, Shadha Adnan Yaseen, Labeeb Mohsin Abdullah, "Matrix based graph coloring algorithm for LTE-PCI assignment and reassignment reduction", IEEE Outubro 2017.
- [5] LTE Frequency Bands, Junho 2018 [Online]. Disponível em: http://niviuk.free.fr/lte_band.php
- [6] Resolução nº 575/2011, Anatel, Junho 2018 [Online]. Disponível em: <http://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2011/68-resolucao-575>
- [7] Consulta Pública Nº 29, sistemas da Anatel, Junho 2018 [Online]. Disponível em: <https://sistemas.anatel.gov.br/SACP/Contribuicoes/TextoConsulta.asp?CodProcesso=C2036&Tipo=1&Opcao=andamento>
- [8] Indicadores de Qualidade, Anatel, Junho 2018 [Online]. Disponível em: <http://www.anatel.gov.br/dados/controle-de-qualidade/controle-telefoniamovel>
- [9] Google Inc., “Developers’ reference”, Junho 2018 [Online]. Disponível em: <https://developer.android.com/reference/classes.html>
- [10] Sistemas da Agência Nacional de Telecomunicações, Abril 2017 [Online] Disponível em: <https://sistemas.anatel.gov.br/stel/>
- [11] A. Nikraves, H. Yao, S. Xu, D. Choffnes, and M. Mao, “Mobilyzer: An open platform for controllable mobile network measurements.”, Proceedings of MobiSys, Maio 2015.
- [12] S. Sonntag, J. Manner, L. Schulte, “Netradar - Measuring the wireless world.”, 11th International Symposium on Modeling Optimization in Mobile, Ad Hoc Wireless Networks, Maio 2013, pp. 29-34.

- [13] S. Rosen, S.-J. Lee, J. Lee, P. Congdon, Z. Mao, K. Burden, “MCNet: Crowdsourcing wireless performance measurements through the eyes of mobile devices”, *Communications Magazine*, IEEE, vol. 52, no. 10, pp. 86-91, Outubro 2014.
- [14] J. Yoon, S. Sen, J. Hare, S. Banerjee, “WiScape: A Framework for Measuring the Performance of Wide-Area Wireless Networks.”, *Mobile Computing*, IEEE Transactions on, vol. 14, no. 8, pp. 1751-1764, 2015.
- [15] U. Goel, M. P. Wittie, K. C. Claffy, and A. Le, “Survey of end-to-end mobile network measurement testbeds, tools, and services,” *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, vol. 18, no. 1, pp. 105–123, 2016.
- [16] A. Nikraves, H. Yao, S. Xu, D. Choffnes, and Z. M. Mao, “Mobilyzer: An open platform for controllable mobile network measurements,” in *Proceedings of the 13th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services*. ACM, 2015, pp. 389–404.
- [17] S. Sonntag, J. Manner, and L. Schulte, “Netradar-measuring the wireless world,” in *Modeling & Optimization in Mobile, Ad Hoc & Wireless Networks (WiOpt)*, 2013 11th International Symposium on. IEEE, 2013, pp. 29–34.
- [18] R. Enami, Y. Shi, D. Rajan, and J. Camp, “Pre-crowdsourcing: Predicting wireless propagation with phone-based channel quality measurements,” in *Proceedings of the 20th ACM International Conference on Modelling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems*. ACM, 2017, pp. 197–206.
- [19] A. Aragon-Zavala, *Antennas and propagation for wireless communication systems*. John Wiley & Sons, 2008.
- [20] Alessandro Checco, Carlo Lancia, and Douglas J Leith. 2014. “Using Crowdsourcing for Local Topology Discovery in Wireless Networks”. *arXiv preprint arXiv:1401.1551* (2014).
- [21] Jinghao Shi, Zhangyu Guan, Chunming Qiao, Tommaso Melodia, Dimitrios Koutsonikolas, and Geoffrey Challen. 2014. “Crowdsourcing access network spectrum allocation using smartphones”. In *Proc. of ACM Hot Topics in Networks*.
- [22] Yuval Shavitt and Eran Shir. 2005. DIMES: “Let the Internet measure itself”. *ACM SIGCOMM CCR* 35, 5 (2005), 71–74.
- [23] Zachary S Bischof, John S Otto, Mario A Sánchez, John P Rula, David R Choffnes, and Fabián E Bustamante. 2011. “Crowdsourcing ISP characterization to the network edge”. In *Proc. of ACM SIGCOMM Measurements Up the Stack*.
- [24] Anshul Rai, Krishna Kant Chintalapudi, Venkata N Padmanabhan, and Rijurekha Sen. 2012. Zee: zero-effort crowdsourcing for indoor localization. In *Proc. of ACM MobiCom*.
- [25] Tobias Hofsfeld, Michael Seufert, Matthias Hirth, Thomas Zinner, Phuoc Tran-Gia, and Raimund Schatz. 2011. Quantification of YouTube QoE via crowdsourcing. In *Proc. of IEEE Multimedia (ISM)*.

- [26] Marcel Dischinger, Massimiliano Marcon, Saikat Guha, P Krishna Gummadi, Ratul Mahajan, and Stefan Saroiu. 2010. Glasnost: Enabling End Users to Detect Traffic Differentiation.. In Proc. of USENIX NSDI.
- [27] Aaron Gember, Aditya Akella, Jeffrey Pang, Alexander Varshavsky, and Ramon Caceres. 2012. Obtaining incontext measurements of cellular network performance. In Proceedings of the 2012 ACM conference on Internet measurement conference. ACM, 287–300.
- [28] Sebastian Sonntag, Jukka Manner, and Lennart Schulte. 2013. Netradar-Measuring the wireless world. In Modeling & Optimization in Mobile, Ad Hoc & Wireless Networks (WiOpt), 2013 11th International Symposium on. IEEE, 29–34.
- [29] REST API, Junho 2018 [Online] Disponível em: <https://shareurcodes.com/blog/creating%20a%20simple%20rest%20api%20in%20php>
- [30] Python , Junho 2018 [Online] Disponível em: <https://www.python.org/about/>
- [31] JSON Web Token (JWT), Junho 2018 [Online] Disponível em: <https://jwt.io/>
- [32] Mongo DB, Junho 2018 [Online] Disponível em: <https://www.mongodb.com/>
- [33] NoSQL Database, Junho 2018 [Online] Disponível em: <http://nosql-database.org/>
- [34] I. Her, "Geometric transformations on the hexagonal grid", IEEE Transactions on Image Processing, vol. 4, no. 9, pp. 1213-1222, 1995.
- [35] *Speedtest*, Ookla, Junho 2018, Disponível em: <http://www.speedtest.net/pt>