



Projeto Conectividade no Campo

Relatório técnico (versão preliminar)

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação



cgée

Projeto Conectividade no Campo

Relatório técnico preliminar contendo o mapeamento da necessidade de conectividade no campo determinada através de análise territorial e caracterização das alternativas tecnológicas e demanda por infraestrutura levantados até o momento

Relatório ou Produto nº 01

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

Ciência, Tecnologia e Inovação

Projeto Conectividade no Campo



cgEE

Brasília, DF
dezembro, 2022

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)

Organização social supervisionada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI)

Presidente

Fernando Cosme Rizzo Assunção

Diretores

Ary Mergulhão Filho

Luiz Arnaldo Pereira da Cunha Junior

Conectividade no campo. Relatório técnico preliminar contendo o mapeamento da necessidade de conectividade no campo determinada através de análise territorial e caracterização das alternativas tecnológicas e demanda por infraestrutura levantados até o momento. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2022. (Relatório ou Produto nº 01)

29 p: il.

1. Conectividade. 2. Internet das coisas. 3. Agricultura 4.0. 4. NB-IoT. 5. LTM
6 Comunicações

I. Conectividade no campo. II. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. III.
Ministério das Comunicações

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

SCN Quadra 2 Bloco A

Edifício Corporate Financial Center salas 1102/1103

70712-900 - Brasília, DF

Telefone: (61) 3424.9600

<http://www.cgEE.org.br>

Todos os direitos reservados pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Os textos contidos nesta publicação poderão ser reproduzidos, armazenados ou transmitidos, desde que seja citada a fonte.

Referência bibliográfica:

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE. **Conectividade no campo**. Nome do projeto. Brasília, DF: 2022
29p. (Relatório ou Produto nº 01)

Esta publicação é parte integrante das atividades desenvolvidas no âmbito do 2º Contrato de Gestão CGEE – 31º Termo Aditivo/Projeto: Conectividade no Campo – 8.10.51.07.01.03/ Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI)/2022.

Projeto Conectividade no Campo

Supervisão

Luiz Arnaldo Pereira da Cunha Júnior

Coordenador

César Augusto Costa

Apoio Administrativo

Larissa Martins Rocha

Equipe Externa

Entropix Engenharia SA

Responsável técnico: Rodrigo Fernando Maule

SUMÁRIO

1	Apresentação	7
2	Detalhamento das variáveis utilizadas no modelo para mapear a demanda por conectividade do agronegócio (formação de clusters)	8
2.1	Metodologia	8
2.1.1	Base de dados	8
2.1.2	Classificação da Base de dados	9
2.1.3	Classes de demanda	9
2.1.4	Chaves de decisão	10
2.2	Resultados	13
2.3	Referências	15
3	Caracterização das alternativas tecnológicas trabalhadas e de sua demanda por infraestrutura	16
3.1	Acrônimos	16
3.2	Estudos realizados	16
3.2.1	Bandas de operação NB-IoT e LTE-M	16
3.2.2	Desempenho NB-IoT	20
3.2.3	Desempenho LTE-M	24
3.2.4	Estudo da influência dos parâmetros de solo e clima do modelo Longley-Rice na atenuação	24
3.3	Referências	28

1 Apresentação

O CGEE, sob solicitação do Ministério das Comunicações, foi incumbido de realizar um levantamento sobre demandas e tecnologias de fornecimento de internet para áreas rurais. Este estudo balizará ações inéditas para ampliação da conectividade rural a partir de tecnologias de internet banda larga, e foi nomeado internamente como Conectividade no campo.

Muito além da conectividade em lares nas comunidades rurais, a garantia da conectividade em áreas estritamente rurais possibilitará, além de maior produtividade e geração de riqueza no campo. Novas máquinas agrícolas, equipamentos e sensores possuem conectividades que permitem o monitoramento em tempo real de condições de colheita, cultivo e plantio, via Internet das Coisas (IoT), que ampliam sem precedentes a produtividade agrícola. Isto é de grande relevância para a sociedade brasileira na medida que contribuirá para o pleno exercício da cidadania de nossa população do campo, bem como viabilizará o aumento da produtividade no campo, gerando, assim, dividendos importantes para a economia nacional como um todo.

Para auxiliar neste trabalho de vulto que é realizar um levantamento no domínio nacional, faz-se necessária a contratação de um serviço de consultoria técnica e especializada. Contudo, consultores independentes poderiam não ter fôlego ou ferramental para realização do trabalho, e uma entidade ou empresa com notória expertise na área apresenta-se como uma opção mais adequada.

Este é uma versão preliminar do primeiro relatório técnico (Produto 1) do Projeto Conectividade no Campo. Este relatório tem o objetivo apresentar o mapeamento da necessidade de conectividade no campo determinada através de análise territorial e caracterização das alternativas tecnológicas e demanda por infraestrutura. O relatório incluir o detalhamento das variáveis utilizadas no modelo para mapear a demanda por conectividade do agronegócio e a caracterização das alternativas tecnológicas trabalhadas e de sua demanda por infraestrutura.

A tarefa de detalhar o banco de dados geoespacial das infraestruturas existentes no território nacional e relacionadas com a conectividade é uma tarefa que está em andamento e deverá ser entregue na versão final deste relatório.

2 Detalhamento das variáveis utilizadas no modelo para mapear a demanda por conectividade do agronegócio (formação de clusters)

2.1 Metodologia

2.1.1 Base de dados

Para produzir a demanda por conectividade rural utilizamos bases de dados apresentadas na Tabela 2.1 e descritas a seguir:

Tabela 2.1: Base de dados

Tipo		Ano	Fonte
Mapa de uso e cobertura	Coleção 7	2020	Mapbiomas
Terras indígenas	Homologadas e Regularizadas	2019	FUNAI
Unidades de conservação	Proteção Integral	2019	MMA
Densidade fundiária		2019	(Sparovek et. al, 2019)
Densidade populacional		2020	WorldPop Dataset
Média do valor de produção		2017	Censo Agropecuário 2017
Frigoríficos		2017	TRASE
Armazéns		2009	EMBRAPA/BIT-PNLT
Usinas		2022	UDOP
Pontos de irrigação	Pivôs Centrais	2019	ANA
Rodovias	Estaduais e Federais	2016	DNIT

O mapa de cobertura e uso da terra no Brasil foi produzido pelo Projeto Brasileiro de Mapeamento Anual de Uso e Cobertura do Solo (Mapbiomas). O Mapbiomas (Souza et al., 2020) produz mapas anuais de cobertura e uso da terra a partir da classificação pixel a pixel de imagens de satélites Landsat de forma totalmente automatizada e integrada ao Google Earth Engine. Neste projeto foi utilizado o mapa de 2020 da Coleção 7 do Mapbiomas. Densidade fundiária e populacional são dados essenciais para a definição da demanda de conectividade rural.

A densidade fundiária foi calculada a partir da malha fundiária (Sparovek et. al, 2019), quantificando o número de propriedades em um pixel de 1 km². E a densidade populacional foi extraída da base de dados do WorldPop e os dados selecionados foram computados através do método *bottom-up* (de cima para baixo) sem restrições (WORLDPOP). A média do valor de produção foi computado pelo valor de produção dos estabelecimentos agropecuária dividido pelo número de estabelecimentos agropecuário do município do Censo Agropecuário 2017.

A partir da base de dados da Fundação Nacional do Índio (FUNAI), foram selecionadas as Terras Indígenas (TI) classificadas como homologadas e regularizadas. Informações das Unidades de Conservação de Proteção Integral (UCPI) foram obtidas da base de dados do Ministério do Meio (MMA). A localização dos silos, frigoríficos, usinas e pontos de irrigação são considerados na modelagem para definir as zonas prioritárias da demanda por conectividade. Os dados de usinas foram obtidos do mapeamento realizado pela União Nacional da Bioenergia (UDOP). A localização dos principais silos de grãos do Brasil foi gerada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) a partir dos dados Banco de Informações e Mapas de Transportes do Plano Nacional de Logística dos Transportes (BIT-PNLT) - Ministério dos Transportes. Enquanto as informações georreferenciadas dos frigoríficos são da base de dados do TRASE (TRASE). O levantamento da localização dos pivôs centrais no Brasil produzido pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) foi utilizado para definir os pontos de irrigação. Por fim, as rodovias federais e estaduais foram obtidas através da base de dados do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT).

2.1.2 Classificação da Base de dados

Os valores de densidade fundiária, densidade populacional e renda média foram categorizados da seguinte forma: valores abaixo do percentil 33 foram classificados como baixa, entre os percentis 33 e 66, média e acima de 66 em alta.

2.1.3 Classes de demanda

Utilizando os dados descritos nos itens anteriores, foram definidas 7 classes de demanda por conectividade no meio rural, a fim de caracterizar tanto a intensidade da demanda quanto o tipo de tecnologia necessária para supri-la. Dessa forma, as classes média e Alta foram subdivididas em demanda para comunicação e informatização. A demanda por comunicação está diretamente ligada à densidade populacional do local e exige a oferta de sinal de banda larga móvel, enquanto a demanda por informatização reflete um cenário com poucas pessoas, porém com atividades produtivas que demandam sinal NB-IOT para conectar sensores, máquinas e equipamentos.

O que diferencia uma demanda média e Alta por informatização é o valor médio da produção agropecuária no município. Esta variável indica o nível de produtividade e rentabilidade dos estabelecimentos rurais, o que reflete diretamente no nível de mecanização e tecnificação do produtor, revelando se este terá mais ou menos facilidade em absorver a oferta de conectividade. Além disso, foram definidas zonas prioritárias, onde a oferta de conectividade é essencial e deve ser priorizada. São elas: rodovias federais e estaduais, infraestruturas produtivas (silos, pivôs de

irrigação, frigoríficos e usinas de etanol), e fronteiras de Unidades de Conservação de Proteção Integral e Terras Indígenas homologadas.

Nas rodovias e nas fronteiras de UCPI's e TI's a demanda é por comunicação, enquanto nas infraestruturas produtivas a demanda é por informatização dos processos. Sendo assim, a definição das classes de demanda está a seguir:

- **Muito Baixa:** Áreas de Vegetação nativa com densidade de ocupação Baixa.
- **Baixa:** Áreas de produção agropecuária com densidade de ocupação Baixa e renda Baixa.
- **Média - Comunicação:** Áreas com densidade de ocupação média.
- **Média - Informatização:** Áreas de produção agropecuária com densidade de ocupação Baixa e renda média.
- **Alta - Comunicação:** Áreas com densidade de ocupação Alta.
- **Alta - Informatização:** Áreas de produção agropecuária com densidade de ocupação Baixa e renda Alta.
- **Zonas prioritárias:**
 - **Logística:** rodovias federais e estaduais (Comunicação);
 - **Infraestrutura produtiva:** silos, frigoríficos, usinas e pivôs de irrigação (Informatização);
 - **Áreas de monitoramento ambiental:** fronteiras de UCPI's e TI's homologadas (Comunicação).
- **Uso Urbano:** Zonas urbanas.

2.1.4 Chaves de decisão

Considerando as descrições acima, foi realizada uma chave de decisão que agrega todas as combinações possíveis entre as classes de cada variável de entrada (densidade populacional, densidade fundiária, uso do solo e renda da produção agropecuária), e define uma classe de demanda pra cada combinação. A chave de decisão pode ser consultada na Tabela 2.2.

Tabela 2.2. Chave de decisão para classificação da demanda.

Densidade populacional	Densidade fundiária	Uso do solo	Renda	Classe de demanda
Baixa	Alta	Vegetação Nativa	Alta	Muito Baixa
Baixa	Alta	Vegetação Nativa	Média	Muito Baixa
Baixa	Alta	Vegetação Nativa	Baixa	Muito Baixa
Baixa	Média	Vegetação Nativa	Alta	Muito Baixa
Baixa	Média	Vegetação Nativa	Média	Muito Baixa
Baixa	Média	Vegetação Nativa	Baixa	Muito Baixa
Baixa	Baixa	Vegetação Nativa	Alta	Muito Baixa
Baixa	Baixa	Vegetação Nativa	Média	Muito Baixa
Baixa	Baixa	Vegetação Nativa	Baixa	Muito Baixa
Baixa	Alta	Agricultura	Baixa	Baixa

Baixa	Alta	Pastagem	Baixa	Baixa
Baixa	Média	Agricultura	Baixa	Baixa
Baixa	Média	Pastagem	Baixa	Baixa
Baixa	Baixa	Agricultura	Baixa	Baixa
Baixa	Baixa	Pastagem	Baixa	Baixa
Média	Média	Agricultura	Alta	Média - Comunicação
Média	Média	Agricultura	Média	Média - Comunicação
Média	Média	Agricultura	Baixa	Média - Comunicação
Média	Média	Pastagem	Alta	Média - Comunicação
Média	Média	Pastagem	Média	Média - Comunicação
Média	Média	Pastagem	Baixa	Média - Comunicação
Média	Baixa	Agricultura	Alta	Média - Comunicação
Média	Baixa	Agricultura	Média	Média - Comunicação
Média	Baixa	Agricultura	Baixa	Média - Comunicação
Média	Média	Vegetação Nativa	Alta	Média - Comunicação
Média	Média	Vegetação Nativa	Média	Média - Comunicação
Média	Média	Vegetação Nativa	Baixa	Média - Comunicação
Média	Baixa	Pastagem	Alta	Média - Comunicação
Média	Baixa	Pastagem	Média	Média - Comunicação
Média	Baixa	Pastagem	Baixa	Média - Comunicação
Média	Baixa	Vegetação Nativa	Alta	Média - Comunicação
Média	Baixa	Vegetação Nativa	Média	Média - Comunicação
Média	Baixa	Vegetação Nativa	Baixa	Média - Comunicação
Baixa	Alta	Agricultura	Média	Média - Informatização
Baixa	Alta	Pastagem	Média	Média - Informatização
Baixa	Média	Agricultura	Média	Média - Informatização
Baixa	Média	Pastagem	Média	Média - Informatização
Baixa	Baixa	Agricultura	Média	Média - Informatização
Baixa	Baixa	Pastagem	Média	Média - Informatização
Alta	Alta	Agricultura	Alta	Alta - Comunicação
Alta	Alta	Agricultura	Média	Alta - Comunicação
Alta	Alta	Agricultura	Baixa	Alta - Comunicação
Alta	Alta	Pastagem	Alta	Alta - Comunicação
Alta	Alta	Pastagem	Média	Alta - Comunicação
Alta	Alta	Pastagem	Baixa	Alta - Comunicação
Alta	Média	Agricultura	Alta	Alta - Comunicação
Alta	Média	Agricultura	Média	Alta - Comunicação
Alta	Média	Agricultura	Baixa	Alta - Comunicação
Alta	Média	Pastagem	Alta	Alta - Comunicação
Alta	Média	Pastagem	Média	Alta - Comunicação
Alta	Média	Pastagem	Baixa	Alta - Comunicação

Alta	Alta	Vegetação Nativa	Alta	Alta - Comunicação
Alta	Alta	Vegetação Nativa	Média	Alta - Comunicação
Alta	Alta	Vegetação Nativa	Baixa	Alta - Comunicação
Alta	Baixa	Agricultura	Alta	Alta - Comunicação
Alta	Baixa	Agricultura	Média	Alta - Comunicação
Alta	Baixa	Agricultura	Baixa	Alta - Comunicação
Alta	Média	Vegetação Nativa	Alta	Alta - Comunicação
Alta	Média	Vegetação Nativa	Média	Alta - Comunicação
Alta	Média	Vegetação Nativa	Baixa	Alta - Comunicação
Alta	Baixa	Pastagem	Alta	Alta - Comunicação
Alta	Baixa	Pastagem	Média	Alta - Comunicação
Alta	Baixa	Pastagem	Baixa	Alta - Comunicação
Alta	Baixa	Vegetação Nativa	Alta	Alta - Comunicação
Alta	Baixa	Vegetação Nativa	Média	Alta - Comunicação
Alta	Baixa	Vegetação Nativa	Baixa	Alta - Comunicação
Média	Alta	Agricultura	Alta	Alta - Comunicação
Média	Alta	Agricultura	Média	Alta - Comunicação
Média	Alta	Agricultura	Baixa	Alta - Comunicação
Média	Alta	Pastagem	Alta	Alta - Comunicação
Média	Alta	Pastagem	Média	Alta - Comunicação
Média	Alta	Pastagem	Baixa	Alta - Comunicação
Média	Alta	Vegetação Nativa	Alta	Alta - Comunicação
Média	Alta	Vegetação Nativa	Média	Alta - Comunicação
Média	Alta	Vegetação Nativa	Baixa	Alta - Comunicação
Baixa	Alta	Agricultura	Alta	Alta - Informatização
Baixa	Alta	Pastagem	Alta	Alta - Informatização
Baixa	Média	Agricultura	Alta	Alta - Informatização
Baixa	Média	Pastagem	Alta	Alta - Informatização
Baixa	Baixa	Agricultura	Alta	Alta - Informatização
Baixa	Baixa	Pastagem	Alta	Alta - Informatização
Alta	Alta	Urbano	Alta	Urbano
Alta	Alta	Urbano	Média	Urbano
Alta	Alta	Urbano	Baixa	Urbano
Alta	Média	Urbano	Alta	Urbano
Alta	Média	Urbano	Média	Urbano
Alta	Média	Urbano	Baixa	Urbano
Alta	Baixa	Urbano	Alta	Urbano
Alta	Baixa	Urbano	Média	Urbano
Alta	Baixa	Urbano	Baixa	Urbano
Baixa	Alta	Urbano	Alta	Urbano
Baixa	Alta	Urbano	Média	Urbano

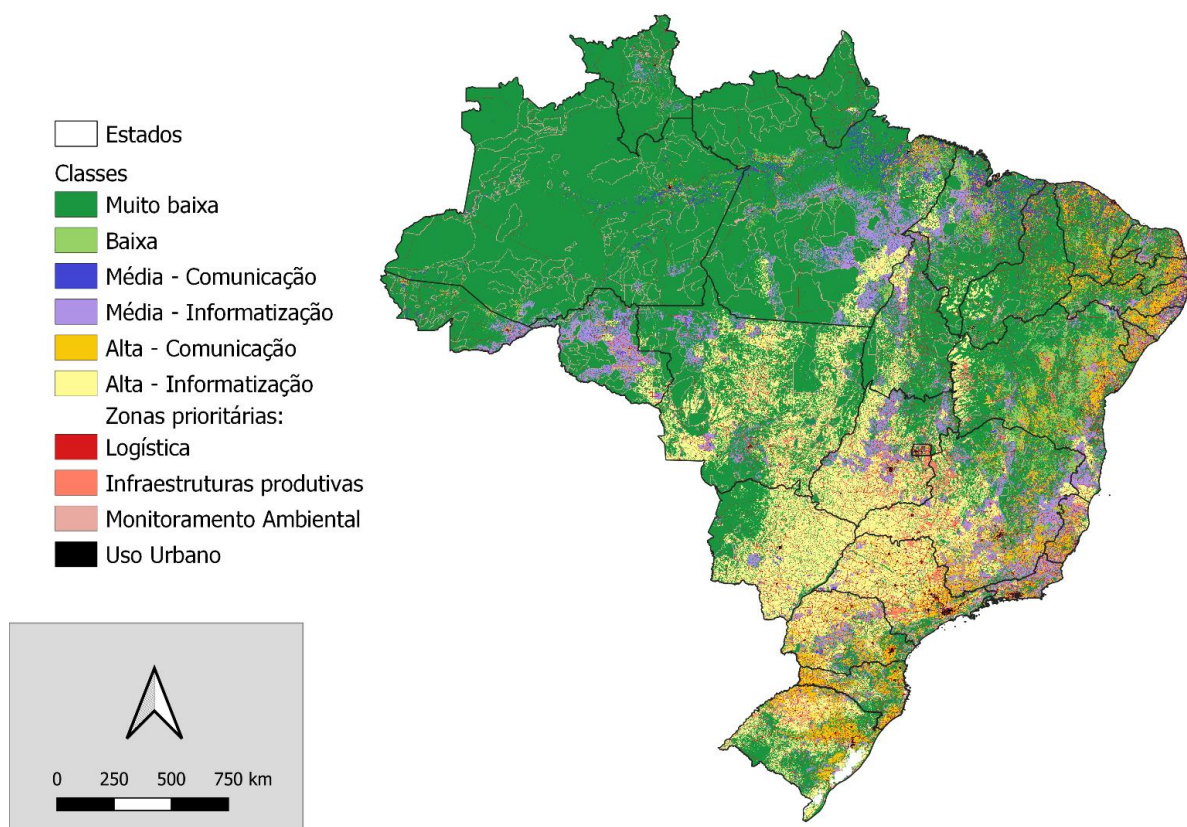
Baixa	Alta	Urbano	Baixa	Urbano
Baixa	Média	Urbano	Alta	Urbano
Baixa	Média	Urbano	Média	Urbano
Baixa	Média	Urbano	Baixa	Urbano
Baixa	Baixa	Urbano	Alta	Urbano
Baixa	Baixa	Urbano	Média	Urbano
Baixa	Baixa	Urbano	Baixa	Urbano

2.2 Resultados

As classes de demanda derivadas das combinações entre as variáveis de entrada descritas no item anterior resultaram no mapa que pode ser visto na Figura 2

As classes de demanda derivadas das combinações entre as variáveis de entrada descritas no item anterior resultaram no mapa que pode ser visto na Figura 2.1.

Figura 2.1. Classes de demanda por conectividade no Brasil.



Como pode ser observado, as zonas de alta demanda por comunicação ficaram majoritariamente concentradas ao redor das áreas urbanas, principalmente nos

estados das regiões Sul, Sudeste e Nordeste, onde a densidade populacional é maior que 100 habitantes/km². Na região Centro-Oeste, em grande parte do estado de São Paulo, sul de Minas Gerais e norte do Paraná, existe uma alta demanda por informatização, caracterizada por áreas de agricultura ou pecuária com menos de 5 habitantes/km², localizadas em municípios cujo valor médio da produção agropecuária é alto.

Às margens dessas áreas de alta demanda por informatização, estão algumas áreas de demanda média por informatização, com características semelhantes às últimas, porém em municípios onde o valor médio de produção da agropecuária é menor. A classe de demanda baixa predomina na região da Caatinga, caracterizada por pequenas propriedades rurais com baixo nível de mecanização e baixa densidade populacional. Por fim, a classe de demanda muito baixa acompanha a cobertura de Vegetação Nativa do país, exceto por algumas regiões onde a presença de comunidades tradicionais representa uma demanda média por comunicação.

Os valores exatos das áreas de cada classe de demanda por estado podem ser vistos na Tabela 2.3.

Tabela 2.3. Áreas de cada classe de demanda por estado em quilômetros quadrados (km²)

UF	Logística	Infra-estrutura produtiva	Monitoramento ambiental	Alta Informatização	Alta Comunicação	Média Informatização	Média Comunicação	Baixa	Muito baixa	Zonas Urbanas	Total Geral
AC	5,006	15	8,220	0	2,671	11,823	4,122	3,735	128,252	122	163,966
AL	3,529	275	503	1,795	9,322	2,568	2,854	4,069	2,648	252	27,815
AM	8,630	50	69,942	0	6,917	8,993	18,388	6,575	1,438,672	449	1,558,616
AP	4,582	4	5,125	744	524	717	1,455	286	128,190	98	141,725
BA	32,965	8,593	8,068	33,073	57,599	27,107	21,476	96,214	278,082	1,380	564,557
CE	13,652	571	989	0	34,261	541	17,240	8,811	71,925	789	148,779
DF	1,368	557	639	622	625	5	481	0	1,033	389	5,719
ES	6,757	1,174	1,632	4,422	12,280	10,619	2,186	821	5,849	290	46,030
GO	26,354	14,687	2,857	147,581	6,648	45,720	5,490	551	89,085	1,152	340,125
MA	14,712	537	6,815	16,484	17,543	25,911	33,872	22,876	189,658	703	329,111
MG	39,423	24,728	9,717	137,213	64,867	85,332	15,263	29,276	178,101	2,389	586,309
MS	18,998	1,723	4,667	195,006	3,159	3,336	5,245	0	124,040	488	356,662
MT	34,060	5,909	28,487	267,773	6,359	35,609	9,622	0	514,113	869	902,801
PA	17,531	226	39,179	51,599	22,292	111,830	47,588	24,647	928,888	1,326	1,245,106
PB	6,718	243	301	296	13,877	1,093	3,883	8,699	21,074	243	56,427
PE	9,126	199	2,962	1,149	27,218	3,625	7,936	9,747	35,356	702	98,020
PI	14,769	260	4,135	8,090	15,063	1,156	11,430	8,731	187,234	769	251,637
PR	19,680	1,953	5,227	68,024	35,694	19,675	6,333	396	40,589	1,549	199,120
RJ	6,355	90	5,312	670	8,435	10,761	2,923	398	7,206	1,377	43,527
RN	6,006	281	185	858	7,753	4,366	3,016	6,018	23,936	350	52,769
RO	7,878	144	15,069	14,278	5,301	64,901	5,193	12	124,275	291	237,342

RR	3,807	136	12,076	373	438	5,003	1,953	1,537	197,962	99	223,384
RS	17,811	8,348	3,153	73,966	48,800	10,763	3,633	73	99,521	1,997	268,065
SC	9,843	566	3,179	11,316	27,508	6,687	2,001	39	32,835	1,242	95,216
SE	4,361	40	429	97	5,451	2,367	1,472	5,607	1,976	118	21,918
SP	24,065	12,968	9,166	115,948	32,835	8,156	7,321	64	32,231	4,812	247,566
TO	16,542	1,013	6,995	38,197	2,440	27,371	3,541	2,898	178,040	347	277,384
TOTAL	374,528	85,290	255,029	1,189,574	475,880	536,035	245,917	242,080	5,060,771	24,592	8,489,696

2.3 Referências

Souza Jr, C .M., Z. Shimbo J, Rosa MR, Parente LL, A. Alencar A, Rudorff BF, Hasenack H, Matsumoto M, G. Ferreira L, Souza-Filho PW, de Oliveira SW. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine. *Remote Sensing*. 2020 Aug 25;12(17):2735.

Sparovek, G., Reydon, B.P., Guedes Pinto, L.F., Faria, V., de Freitas, F.L.M., AzevedoRamos, C., Gardner, T., Hamamura, C., Rajão, R., Cerignoni, F., Siqueira, G.P., Carvalho, T., Alencar, A., Ribeiro, V. Who owns Brazilian lands? *Land Use Policy*, 87 (2019).

TRASE, Transparent Supply Chains for Sustainable Economies; <https://trase.earth/data?lang=en>

WORLDPOP. School of Geography and Environmental Science, University of Southampton; Department of Geography and Geosciences, University of Louisville; Departement de Geographie, Universite de Namur and Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), Columbia University (2018). Global High Resolution Population Denominators Project - Funded by The Bill and Melinda Gates Foundation (OPP1134076). <https://dx.doi.org/10.5258/SOTON/WP00674>

3 Caracterização das alternativas tecnológicas trabalhadas e de sua demanda por infraestrutura

3.1 Acrônimos

3GPP Third Generation Partnership Project

5G NR 5G New Radio

DL Downlink

DVB-T Digital Video Broadcasting-Terrestrial

E-UTRA Evolved Universal Terrestrial Radio Access

FR Frequency Range

LTE Long Term Evolution

LTE-M LTE Machine

NB-IoT Narrow Band Internet of Things

RB Resource Block

RSRP Reference Symbols Received Power

RU Resource Unit

SNR Signal to Noise Ratio

UL Uplink

VoLTE Voice Over LTE

WDS White Space Device

3.2 Estudos realizados

O objetivo deste documento é apresentar os resultados dos estudos técnicos e científicos requisitados no âmbito do projeto de Conectividade no Campo em parceria com o CGEE (Centro de Gestão e Estudos Estratégicos).

3.2.1 Bandas de operação NB-IoT e LTE-M

As faixas de frequências definidas para todas as categorias de terminais *Long Term Evolution* (LTE) são definidas pelo *Third Generation Partnership Project* (3GPP) em [1] e mostradas na Tabela 3.1. As categorias CAT NB1 e CAT NB2 são referentes aos terminais *Narrow Band Internet of Things* (NB-IoT) enquanto que as categorias CAT M1 e CAT M2 são referentes aos terminais *LTE Machine* (LTE-M).

Tabela 3.1: E-UTRA Operating Bands

E-UTRA Operating Band	Uplink (UL) operating band BS receive UE transmit			Downlink (DL) operating band BS transmit UE receive			Duplex Mode
	FUL low – FUL high			FDL low – FDL high			
1	1920 MHz	-	1980 MHz	2110 MHz	-	2170 MHz	FDD
2	1850 MHz	-	1910 MHz	1930 MHz	-	1990 MHz	FDD
3	1710 MHz	-	1785 MHz	1805 MHz	-	1880 MHz	FDD
4	1710 MHz	-	1755 MHz	2110 MHz	-	2155 MHz	FDD
5	824 MHz	-	849 MHz	869 MHz	-	894MHz	FDD
6	830 MHz	-	840 MHz	875 MHz	-	885 MHz	FDD
7	2500 MHz	-	2570 MHz	2620 MHz	-	2690 MHz	FDD
8	880 MHz	-	915 MHz	925 MHz	-	960 MHz	FDD
9	1749.9 MHz	-	1784.9 MHz	1844.9 MHz	-	1879.9 MHz	FDD
10	1710 MHz	-	1770 MHz	2110 MHz	-	2170 MHz	FDD
11	1427.9 MHz	-	1447.9 MHz	1475.9 MHz	-	1495.9 MHz	FDD
12	699 MHz	-	716 MHz	729 MHz	-	746 MHz	FDD
13	777 MHz	-	787 MHz	746 MHz	-	756 MHz	FDD
14	788 MHz	-	798 MHz	758 MHz	-	768 MHz	FDD
15	Reserved			Reserved			FDD
16	Reserved			Reserved			FDD
17	704 MHz	-	716 MHz	734 MHz	-	746 MHz	FDD
18	815 MHz	-	830 MHz	860 MHz	-	875 MHz	FDD
19	830 MHz	-	845 MHz	875 MHz	-	890 MHz	FDD
20	832 MHz	-	862 MHz	791 MHz	-	821 MHz	FDD
21	1447.9 MHz	-	1462.9 MHz	1495.9 MHz	-	1510.9 MHz	FDD
22	3410 MHz	-	3490 MHz	3510 MHz	-	3590 MHz	FDD
23	2000 MHz	-	2020 MHz	2180 MHz	-	2200 MHz	FDD
24	1626.5 MHz	-	1660.5 MHz	1525 MHz	-	1559 MHz	FDD
25	1850 MHz	-	1915 MHz	1930 MHz	-	1995 MHz	FDD
26	814 MHz	-	849 MHz	859 MHz	-	894 MHz	FDD
27	807 MHz	-	824 MHz	852 MHz	-	869 MHz	FDD
28	703 MHz	-	748 MHz	758 MHz	-	803 MHz	FDD
29	N/A			717 MHz	-	728 MHz	FDD2
30	2305 MHz	-	2315 MHz	2350 MHz	-	2360 MHz	FDD
31	452.5 MHz	-	457.5 MHz	462.5 MHz	-	467.5 MHz	FDD
32		N/A		1452 MHz	-	1496 MHz	FDD2
33	1900 MHz	-	1920 MHz	1900 MHz	-	1920 MHz	TDD
34	2010 MHz	-	2025 MHz	2010 MHz	-	2025 MHz	TDD
35	1850 MHz	-	1910 MHz	1850 MHz	-	1910 MHz	TDD
36	1930 MHz	-	1990 MHz	1930 MHz	-	1990 MHz	TDD
37	1910 MHz	-	1930 MHz	1910 MHz	-	1930 MHz	TDD
38	2570 MHz	-	2620 MHz	2570 MHz	-	2620 MHz	TDD
39	1880 MHz	-	1920 MHz	1880 MHz	-	1920 MHz	TDD
40	2300 MHz	-	2400 MHz	2300 MHz	-	2400 MHz	TDD
41	2496 MHz	-	2690 MHz	2496 MHz	-	2690 MHz	TDD
42	3400 MHz	-	3600 MHz	3400 MHz	-	3600 MHz	TDD
43	3600 MHz	-	3800 MHz	3600 MHz	-	3800 MHz	TDD
44	703 MHz	-	803 MHz	703 MHz	-	803 MHz	TDD
45	1447 MHz	-	1467 MHz	1447 MHz	-	1467 MHz	TDD
46	5150 MHz	-	5925 MHz	5150 MHz	-	5925 MHz	TDD8
47	5855 MHz	-	5925 MHz	5855 MHz	-	5925 MHz	TDD11
48	3550 MHz	-	3700 MHz	3550 MHz	-	3700 MHz	TDD
49	3550 MHz	-	3700 MHz	3550 MHz	-	3700 MHz	TDD16
50	1432 MHz	-	1517 MHz	1432 MHz	-	1517 MHz	TDD13
51	1427 MHz	-	1432 MHz	1427 MHz	-	1432 MHz	TDD13
52	3300 MHz	-	3400 MHz	3300 MHz	-	3400 MHz	TDD

53	2483.5 MHz	-	2495 MHz	2483.5 MHz	-	2495 MHz	TDD
...							
64	Reserved						
65	1920 MHz	-	2010 MHz	2110 MHz	-	2200 MHz	FDD
66	1710 MHz	-	1780 MHz	2110 MHz	-	2200 MHz	FDD4
67		N/A		738 MHz	-	758 MHz	FDD2
68	698 MHz	-	728 MHz	753 MHz	-	783 MHz	FDD
69		N/A		2570 MHz	-	2620 MHz	FDD2
70	1695 MHz	-	1710 MHz	1995 MHz	-	2020 MHz	FDD10
71	663 MHz	-	698 MHz	617 MHz	-	652 MHz	FDD
72	451 MHz	-	456 MHz	461 MHz	-	466 MHz	FDD
73	450 MHz	-	455 MHz	460 MHz	-	465 MHz	FDD
74	1427 MHz	-	1470 MHz	1475 MHz	-	1518 MHz	FDD
75		N/A		1432 MHz	-	1517 MHz	FDD2
76		N/A		1427 MHz	-	1432 MHz	FDD2
85	698 MHz	-	716 MHz	728 MHz	-	746 MHz	FDD
87	410 MHz	-	415 MHz	420 MHz	-	425 MHz	FDD
88	412 MHz	-	417 MHz	422 MHz	-	427 MHz	FDD
103	787 MHz	-	788 MHz	757 MHz	-	758 MHz	FDD

A faixa de operação de 450 MHz adotada no Brasil corresponde as frequências de 451 MHz a 458 MHz para *Uplink* (UL) e 461 MHz a 468 MHz para *Downlink* (DL), referentes as bandas 31, 72 e 73 da Tabela 3.1. Em [1] define-se que:

1. **“UE category M1 and M2** is designed to operate in the E-UTRA operating bands 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 11, 12, 13, 14, 18, 19, 20, 21, 24, 25, 26, 27, 28, **31**, 66, 71, **72, 73**, 74, 85, 87 and 88 in both half duplex FDD mode and full-duplex FDD mode, and in bands 39, 40, 41, 42, 43 and 48 in TDD mode.”
2. **“Category NB1 and NB2** are designed to operate in the E-UTRA operating bands 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 11, 12, 13, 14, 17, 18, 19, 20, 21, 24, 25, 26, 28, 31, 41, 42, 43, 48, 65, 66, 70, 71, **72, 73**, 74, 85, 87, 88, and 103.
3. **“Category NB1 and NB2** are designed to operate in the NR operating bands n1, n2, n3, n5, n7, n8, n12, n14, n18, n20, n25, n26, n28, n41, n65, n66, n70, n71, n74, n90.”

Desta forma, podemos concluir pelos itens 1 e 2 descritos anteriormente que tanto LTE-M quanto NB-IoT operam na faixa de 450 MHz.

Vale notar, de acordo com o item 3, que o NB-IoT também pode operar em faixas de espectro definidas para *5G New Radio* (5G NR), sendo as mesmas definidas pelos padrões [2] e [3]. A Tabela 3.2 descreve as *Frequency Ranges* (FRs) definidas pelo 3GPP para operação 5G NR e as Tabelas 3.3 e 3.4 apresentam as suas respectivas faixas de operação.

Tabela 3.2: 3GPP 5G NR Frequency Ranges

<i>Frequency range designation</i>	<i>Corresponding frequency range</i>
FR1	410 MHz – 7125 MHz
FR2	24250 MHz – 52600 MHz

Tabela 3.3: FR1 5G NR Operating Bands

NR operating band	Uplink (UL) operating band BS receive / UE transmit	Downlink (DL) operating band BS transmit / UE receive	Duplex Mode
	FUL low – FUL high	FDL low – FDL high	
n1	1920 MHz – 1980 MHz	2110 MHz – 2170 MHz	FDD
n2	1850 MHz – 1910 MHz	1930 MHz – 1990 MHz	FDD
n3	1710 MHz – 1785 MHz	1805 MHz – 1880 MHz	FDD
n5	824 MHz – 849 MHz	869 MHz – 894 MHz	FDD
n7	2500 MHz – 2570 MHz	2620 MHz – 2690 MHz	FDD
n8	880 MHz – 915 MHz	925 MHz – 960 MHz	FDD
n12	699 MHz – 716 MHz	729 MHz – 746 MHz	FDD
n13	777 MHz – 787 MHz	746 MHz – 756 MHz	FDD
n14	788 MHz – 798 MHz	758 MHz – 768 MHz	FDD
n18	815 MHz – 830 MHz	860 MHz – 875 MHz	FDD
n20	832 MHz – 862 MHz	791 MHz – 821 MHz	FDD
n24	1626.5 MHz – 1660.5 MHz	1525 MHz – 1559 MHz	FDD
n25	1850 MHz – 1915 MHz	1930 MHz – 1995 MHz	FDD
n26	814 MHz – 849 MHz	859 MHz – 894 MHz	FDD
n28	703 MHz – 748 MHz	758 MHz – 803 MHz	FDD
n29	N/A	717 MHz – 728 MHz	SDL
n30	2305 MHz – 2315 MHz	2350 MHz – 2360 MHz	FDD
n34	2010 MHz – 2025 MHz	2010 MHz – 2025 MHz	TDD
n38	2570 MHz – 2620 MHz	2570 MHz – 2620 MHz	TDD
n39	1880 MHz – 1920 MHz	1880 MHz – 1920 MHz	TDD
n40	2300 MHz – 2400 MHz	2300 MHz – 2400 MHz	TDD
n41	2496 MHz – 2690 MHz	2496 MHz – 2690 MHz	TDD
n46	5150 MHz – 5925 MHz	5150 MHz – 5925 MHz	TDD
n47	5855 MHz – 5925 MHz	5855 MHz – 5925 MHz	TDD
n48	3550 MHz – 3700 MHz	3550 MHz – 3700 MHz	TDD
n50	1432 MHz – 1517 MHz	1432 MHz – 1517 MHz	TDD
n51	1427 MHz – 1432 MHz	1427 MHz – 1432 MHz	TDD
n53	2483.5 MHz – 2495 MHz	2483.5 MHz – 2495 MHz	TDD
n65	1920 MHz – 2010 MHz	2110 MHz – 2200 MHz	FDD
n66	1710 MHz – 1780 MHz	2110 MHz – 2200 MHz	FDD
n67	N/A	738 MHz – 758 MHz	SDL
n70	1695 MHz – 1710 MHz	1995 MHz – 2020 MHz	FDD
n71	663 MHz – 698 MHz	617 MHz – 652 MHz	FDD
n74	1427 MHz – 1470 MHz	1475 MHz – 1518 MHz	FDD
n75	N/A	1432 MHz – 1517 MHz	SDL
n76	N/A	1427 MHz – 1432 MHz	SDL
n77	3300 MHz – 4200 MHz	3300 MHz – 4200 MHz	TDD
n78	3300 MHz – 3800 MHz	3300 MHz – 3800 MHz	TDD
n79	4400 MHz – 5000 MHz	4400 MHz – 5000 MHz	TDD
n80	1710 MHz – 1785 MHz	N/A	SUL
n81	880 MHz – 915 MHz	N/A	SUL
n82	832 MHz – 862 MHz	N/A	SUL
n83	703 MHz – 748 MHz	N/A	SUL
n84	1920 MHz – 1980 MHz	N/A	SUL
n85	698 MHz – 716 MHz	728 MHz – 746 MHz	FDD

n86	1710 MHz – 1780 MHz	N/A	SUL
n89	824 MHz – 849 MHz	N/A	SUL
n90	2496 MHz – 2690 MHz	2496 MHz – 2690 MHz	TDD
n91	832 MHz – 862 MHz	1427 MHz – 1432 MHz	FDD
n92	832 MHz – 862 MHz	1432 MHz – 1517 MHz	FDD
n93	880 MHz – 915 MHz	1427 MHz – 1432 MHz	FDD
n94	880 MHz – 915 MHz	1432 MHz – 1517 MHz	FDD
n95	2010 MHz – 2025 MHz	N/A	SUL
n96	5925 MHz – 7125 MHz	5925 MHz – 7125 MHz	TDD
n97	2300 MHz – 2400 MHz	N/A	SUL
n98	1880 MHz – 1920 MHz	N/A	SUL
n99	1626.5 MHz – 1660.5 MHz	N/A	SUL
n100	874.4 MHz – 880 MHz	919.4 MHz – 925 MHz	FDD
n101	1900 MHz – 1910 MHz	1900 MHz – 1910 MHz	TDD
n102	5925 MHz – 6425 MHz	5925 MHz – 6425 MHz	TDD
n104	6425 MHz – 7125 MHz	6425 MHz – 7125 MHz	TDD

Tabela 3.4: FR2 5G NR Operating Bands

Operating Band	Uplink (UL) operating band BS receive UE transmit			Downlink (DL) operating band BS transmit UE receive			Duplex Mode
	FUL low – FUL high			FDL low – FDL high			
n257	26500 MHz	-	29500 MHz	26500MHz	-	29500 MHz	TDD
n258	24250 MHz	-	27500 MHz	24250MHz	-	27500 MHz	TDD
n259	39500 MHz	-	43500 MHz	39500MHz	-	43500 MHz	TDD
n260	37000 MHz	-	40000 MHz	37000MHz	-	40000 MHz	TDD
n261	27500 MHz	-	28350 MHz	27500MHz	-	28350 MHz	TDD
n262	47200 MHz	-	48200 MHz	47200MHz	-	48200 MHz	TDD

3.2.2 Desempenho NB-IoT

NB-IoT é uma tecnologia baseada no sistema LTE desenvolvida para aplicações de Internet das Coisas que foi introduzida pelo 3GPP no *Release 13*. Essa tecnologia, apesar de não apresentar altas taxas de transmissão devido a sua aplicação, apresenta grande capacidade em termos de terminais conectados por célula (aproximadamente 50.000) e células com área de cobertura de até 15 quilômetros [4] [5].

Os padrões 3GPP para NB-IoT estabelecem diferentes técnicas para que o sistema apresente as características necessárias para as aplicações de Internet das Coisas, como as já mencionadas grande área de cobertura e elevada capacidade de terminais conectados por células, bem como a grande duração da bateria dos terminais. Dentre as técnicas padronizadas para melhoria da área de cobertura de uma célula, se destaca a repetição das mensagens enviadas tanto no DL quanto no UL, propiciando o aumento da probabilidade de decodificação de mensagens mesmo em condições de *Signal to Noise Ratio* (SNR) baixas, garantido uma expansão da área de cobertura se comparado a um sistema LTE tradicional. Entretanto, o uso de repetições provoca latência e, sendo assim, existe uma relação

de compromisso entre a área de cobertura da célula, taxa de transmissão e a latência do sistema.

Em [6] é apresentado um estudo experimental de desempenho que relaciona as três grandezas mencionadas. A Tabela 3.5 descreve as latências máximas e mínimas do NB-IoT de acordo com o número de repetições. Neste caso, considera-se o uso de configuração *single tone* no UL, referente a uma *Resource Unit* (RU) e um *Resource Block* (RB) alocado para DL.

Tabela 3.5: Latência mínima e máxima NB-IoT para *Downlink* e *Uplink*

Sentido de transmissão	Latência mínima (1 RU + 0 REP)	Latência máxima (10 RUs + 2048 REPs)
<i>Downlink</i>	20 ms	22.788 ms
<i>Uplink</i>	21 ms	14.404 ms

Percebe-se que as taxas de transmissão do sistema NB-IoT sofrem influência com o nível de sinal recebido e, conseqüentemente, da posição do terminal em relação a rádio base. As Figuras 3.1 [6] e 3.2 [6] mostram a taxa de transmissão de UL e DL respectivamente para pacotes enviados com tamanhos de 8, 64 e 512 bytes em relação ao *Reference Symbols Received Power* (RSRP).

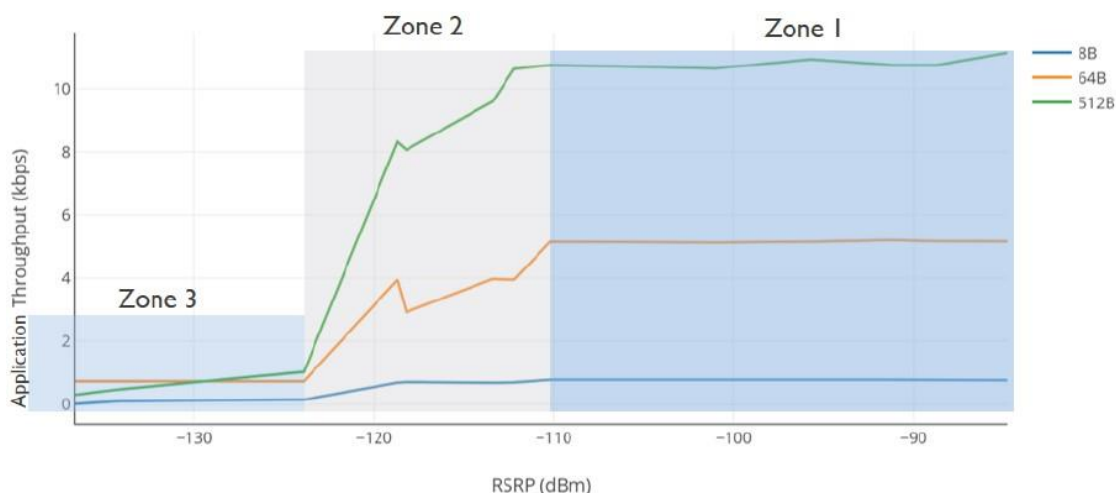


Figura 3.1: Variação da taxa de dados em relação à intensidade de sinal recebida para *Uplink*

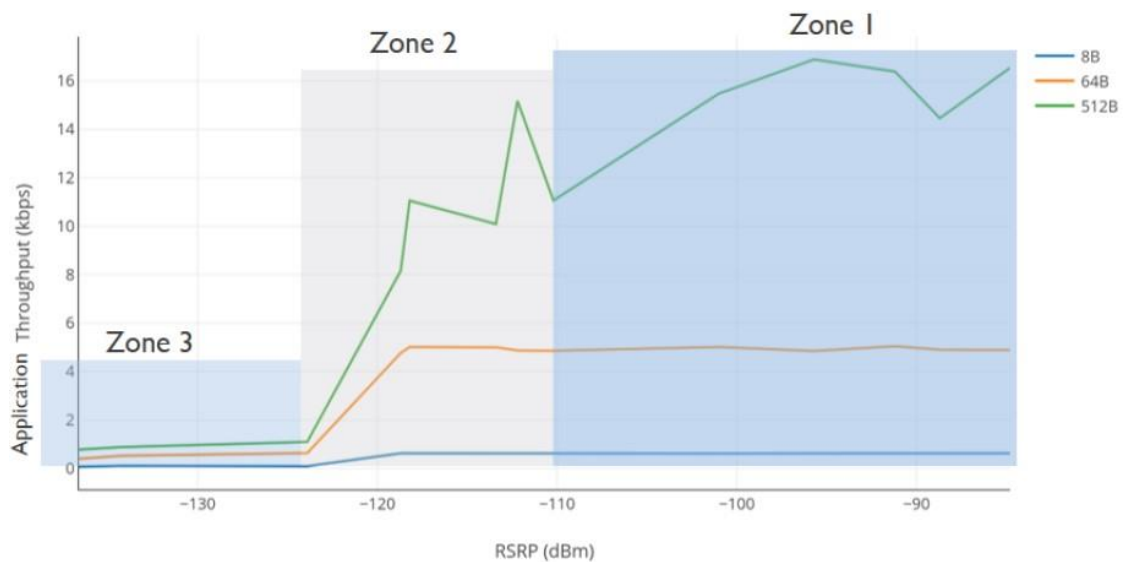


Figura 3.2: Variação da taxa de dados em relação à intensidade de sinal recebida para *Downlink*

Portanto, para a criação de uma *layer* no mapa de cobertura referente a tecnologia NB-IoT, recomenda-se os níveis descritos na Tabela 3.6.

Tabela 3.6: Estimativa de taxa de transmissão NB-IoT

Zona	Intensidade de sinal	Taxa de transmissão
Zona 1	<-125 dBm	Baixa
Zona 2	entre -125 dBm e -110 dBm	Média
Zona 3	>-110 dBm	Alta

Já em relação à latência, as Figuras 3.3 [6] e 3.4 [6] mostram a variação da latência de UL e DL respectivamente para pacotes enviados com tamanhos de 8, 64 e 512 bytes em relação ao RSRP.

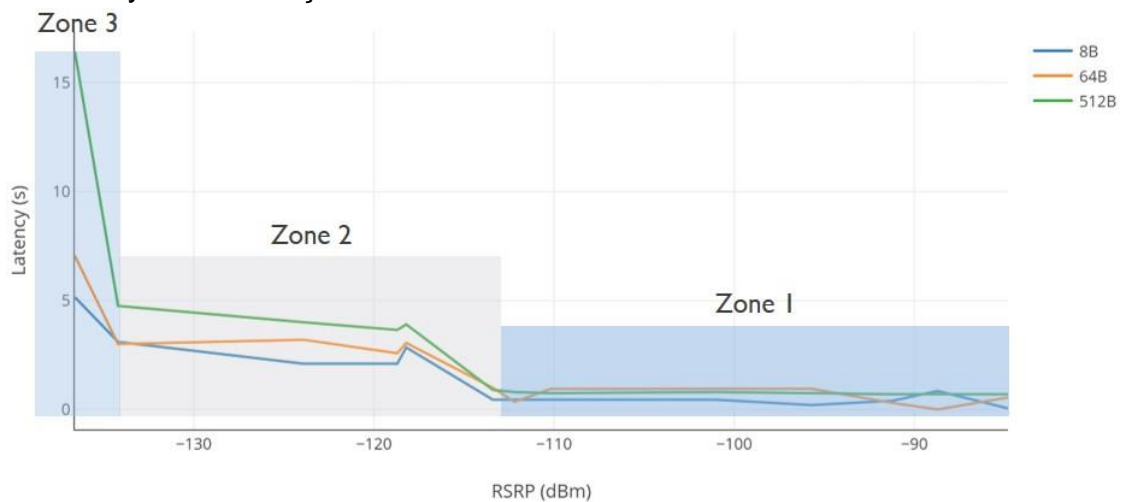


Figura 3.3: Variação da latência em relação à intensidade de sinal recebida para *Uplink*

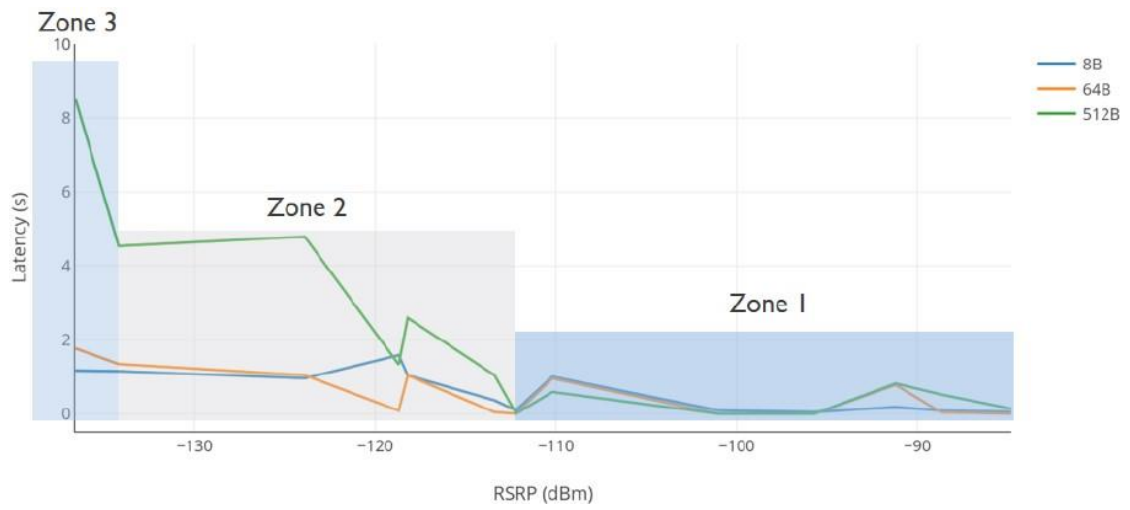


Figura 3.4: Variação da latência em relação à intensidade de sinal recebida para *Downlink*.

Portanto, para a criação de uma *layer* referente à latência da tecnologia NB-IoT, recomenda-se os níveis descritos na Tabela 3.7.

Tabela 3.7: Estimativa de latência NB-IoT

Zona	Intensidade de sinal	Latência
Zona 1	<-135 dBm	Alta
Zona 2	entre -135 dBm e -115 dBm	Média
Zona 3	>-115 dBm	Baixa

3.2.3 Desempenho LTE-M

O LTE-M é uma tecnologia baseada em sistemas LTE também introduzida pelo 3GPP na *Release 13* para aplicações de Internet das Coisas, suportando taxas de transmissão relativamente mais elevadas (384 Kbps no DL e até 1 Mbps no UL) e latências mais baixas (50 a 100 ms), se comparada a tecnologia NB-IoT [7]. Vale também notar que o LTE-M suporta a aplicação *Voice Over LTE* (VoLTE) e mobilidade (*handover*), características não suportadas pelo NB-IoT. No estudo apresentado em [8], suportado por empresas como Ericsson, Sierra Wireless, Nokia, AT&T, Verizon, NTT Docomo, dentre outras, é possível se concluir que o LTE-M tem o mesmo desempenho que o NB-IoT em relação à cobertura. O LTE-M emprega a mesma técnica de repetição de mensagens para melhoria de cobertura, trazendo impacto na latência do sistema. Desta forma, também é possível se usar como referência a estimativa de latência em relação ao nível de sinal apresentada para o NB-IoT.

3.2.4 Estudo da influência dos parâmetros de solo e clima do modelo Longley-Rice na atenuação

O modelo de propagação *Longley-Rice* é válido para frequências de 20MHz a 20GHz, considerando-se diferentes ambientes e alturas das antenas transmissoras e receptoras [9]. Os diferentes ambientes suportados pelo modelo são caracterizados por parâmetros dependentes do tipo do solo e do clima: permissividade média do solo, condutividade do solo e refratividade da superfície, sendo a última também conhecida como refratividade de rádio.

3.2.4.1 Definição dos parâmetros

1. Permissividade do solo: é referente a permissividade elétrica da superfície terrestre. Representa a característica que um material tem de se opor a passagem de corrente elétrica [10]. Valores padrão são apresentados na Tabela 3.8 [9].

2. Condutividade do solo: é referente a condutividade elétrica da superfície terrestre. Representa a característica que um material tem de conduzir corrente elétrica [10]. Valores padrão são apresentados na Tabela 3.9 [9].
3. Refratividade da superfície: representa o índice de refração da atmosfera terrestre. Seus valores dependem de fatores como a pressão atmosférica, temperatura e umidade do solo [11]. Valores padrão são apresentados na Tabela 3.10 [9].

Tabela 3.8: Valores padrão de permissividade do solo

Tipo de solo	Permissividade (F/m)
Pobre	04
Médio	15
Bom	25
Umido (água doce)´	81
Umido (água do mar)´	81

Tabela 3.9: Valores padrão de condutividade do solo

Tipo de solo	Condutividade (S/m)
Pobre	0,001
Médio	0,005
Bom	0,020
Umido (água doce)´	0,010
Umido (água do mar)´	5,000

Tabela 3.10: Valores padrão de refratividade da superfície

Clima	Refratividade da superfície (N-unidades)
Deserto	280
Continental Temperado	301
Continental Sub-tropical	320
Marítimo Temperado	320
Marítimo Temperado sobre o mar	350
Equatorial	360
Marítimo Sub-tropical	370

3.2.4.2 Análise de impacto

As ondas eletromagnéticas têm vários mecanismos de propagação, dependentes principalmente da frequência de operação do sistema. De especial interesse neste

estudo é o mecanismo de propagação denominado de ondas terrestres, compostas por ondas superficiais e espaciais. As ondas superficiais são aquelas que se propagam com o auxílio do solo, sendo predominantes em frequências menores do que 100 MHz. Já as ondas espaciais são aquelas que se propagam na atmosfera terrestre, sendo predominantes para frequências superiores a 100 MHz [12].

Os parâmetros de permissividade e condutividade do solo têm grande influência na propagação de ondas terrestres [13]. Como os sistemas celulares operam em frequências superiores a 100 MHz, onde o mecanismo de propagação predominante é o de ondas espaciais, pode-se considerar que os valores destes parâmetros não terão impacto significativo no resultado do modelo *Longley-Rice* quando empregado para predição de cobertura de sistemas celulares.

Como já mencionado, a refratividade da superfície depende de fatores como a pressão atmosférica, temperatura e umidade do solo, sendo estas características determinadas pelo tipo de clima, como descrito na Tabela 3.10. Segundo [14], a variação do índice de refração na atmosfera terrestre causa variação do ângulo de incidência da onda eletromagnética na antena receptora, levando a perdas adicionais na intensidade do sinal recebido. Este fenômeno é especialmente observado em frequências elevadas (dezenas de GHz) e em sistemas com antenas de alto ganho. Já segundo [15], a análise da refratividade da superfície é relevante para sistemas ponto-a-ponto de longa distância.

Desta forma, como as faixas de frequências consideradas no projeto não estão na faixa das dezenas de GHz, as antenas das rádio base e do móvel não tem um ganho elevado e um sistema celular tem características de ser ponto-multi-ponto, conclui-se que o referido parâmetro não terá influência significativa no resultado do modelo *Longley-Rice* quando empregado para predição de cobertura de sistemas celulares.

Em [16] é apresentado um estudo para determinação dos melhores valores para os parâmetros descritos baseado em medidas reais, com o objetivo de otimizar o modelo *Longley-Rice* e tornar os resultados de predição mais precisos. Para tal, o estudo empregou um enlace *Digital Video Broadcasting-Terrestrial* (DVB-T) baseado em sistemas *White Space Devices* (WSDs) (ponto-multi-ponto), operando na frequência central de 626MHz (faixa relevante para sistemas celulares), polarização vertical, altura de antena transmissora de 90m e altura de antena receptora de 2m, além de parâmetros complementares.

Com isso, foram feitas análises tanto da influência individual quanto da influência global dos parâmetros no resultado final de atenuação que os mesmos provocam, empregando-se três tipos diferentes de clima: *maritime temperate over land*, *maritime temperate over sea* e *continental temperate*.

A Tabela 3.11 apresenta os valores de atenuação com a variação individual dos parâmetros de solo e clima apresentados. Por exemplo, a segunda coluna indica o valor mínimo, médio e máximo de atenuação de acordo com a variação do parâmetro de permissividade do solo, mantendo os demais parâmetros fixos.

Tabela 3.11: Valores de atenuação com a variação individual dos parâmetros de solo e clima

Atenuação	Permissividade	Condutividade	Refratividade
Atenuação mínima (dB)	13,7367	13,7424	13,7397
Atenuação média (dB)	13,7420	13,7429	13,7410
Atenuação máxima (dB)	13,7466	13,7437	13,7427

Já a Tabela 3.12 apresenta os valores de atenuação global mínima, média e máxima com base nas diferentes combinações dos três parâmetros. Perceba que o valor máximo é apenas 0,014 dB maior que o valor mínimo, o que indica uma variação muito pequena se comparada com o valor total de *Path Loss* encontrado no estudo, que é de 102,1936 dB.

Tabela 3.12: Valor de atenuação global com a variação dos parâmetros de solo e clima

Atenuação	Permissividade / Condutividade / Refratividade
Atenuação mínima (dB)	13.7333
Atenuação média (dB)	13.7405
Atenuação máxima (dB)	13.7473

Sendo assim é possível concluir que, como já esperado, os parâmetros referentes às características do solo e do clima tem influência negligenciável no resultado de predição do modelo *Longley-Rice* quando o mesmo é empregado para projetos de sistemas pontomulti-ponto de pequena área de cobertura por célula, operando nas faixas de frequência relevantes para o projeto de Conectividade no Campo.

3.3 Referências

- [1] 3GPP TS 36.101 Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception release 17, 2022.
- [2] 3GPP TS 38.101-1 NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 1: Range 1 Standalone release 17, 2022.
- [3] 3GPP TS 38.101-2 NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 2: Range 2 Standalone release 17, 2022.
- [4] Nokia, *LTE evolution for IoT connectivity. White Paper*, 2016.
- [5] K. Heins, *NB-IoT Use Cases and Devices: Design Guide*. Springer Nature, 2021.
- [6] S. S. Basu, A. K. Sultania, J. Famaey, and J. Hoebeke, “Experimental performance evaluation of nb-iot,” in *2019 International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*, 2019, pp. 1–6.
- [7] K. A. Aldahdouh, K. A. Darabkh, W. Al-Sit *et al.*, “A survey of 5g emerging wireless technologies featuring lorawan, sigfox, nb-iot and lte-m,” in *2019 International conference on wireless communications signal processing and networking (WiSPNET)*. IEEE, 2019, pp. 561–566.
- [8] G. Vos, J. Bergman, Y. Bitran, M. Beale, M. Cannon, R. Holden, Y. Chan, R. Toledano, R. Bras, T. Wakayama *et al.*, “Coverage analysis for lte-m cat-m1 devices white paper,” 2017.
- [9] C. T. do Amaral, “Uma análise do modelo de propagação longley-rice sob a perspectiva de ambientes urbanos localizados em área de climatropical,” 2012.
- [10] ITU-R, “Recommendation itu-r p.527-4, electrical characteristics of the surface of the earth,” 2017.
- [11] B. Bean and J. Horn, “Radio-refractive-index climate near the ground,” *J. Res. Natl. Bur. Stand. D*, vol. 63, pp. 259–271, 1959.
- [12] G. ABREU and R. KOHNO, “Radio frequency principles and applications-the generation, propagation and reception of signals and noise radio frequency principles and applications-the generation, propagation and reception of signals and noise, 1998,” *IEICE transactions on communications*, vol. 84, no. 7, pp. 1743–1759, 2001.
- [13] ITU-R, “Recommendation itu-r p.368-7, ground wave propagation curves for frequencies between 10 khz and 30 mhz,” 1992.

- [14] F. Ikegami, T. Akiyama, S. Aoyagi, and H. Yoshida, "Variation of radio refraction in the lower atmosphere," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 16, no. 2, pp. 194–200, 1968.
- [15] P. Misme, "Models of the atmospheric radio refractive index," *Proceedings of the Institute of Radio Engineers*, vol. 48, no. 8, pp. 1498–1499, 1960.
- [16] P. Avez, P. Van Wesemael, A. Bourdoux, A. Chiumento, S. Pollin, and V. Moeyaert, "Tuning the longley-ricc propagation model for improved tv white space detection," in *2012 19th IEEE Symposium on Communications and Vehicular Technology in the Benelux (SCVT)*. IEEE, 2012, pp. 1–6.