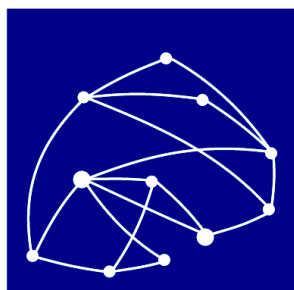


5G IoT

Atividade 1.4 - Definição dos requisitos de desempenho das aplicações com maior potencial de impacto social e econômico e avaliação da exequibilidade técnica de implementação destas aplicações

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações



RNP

Histórico de Atualizações:

Versão	Data	Autor(es)	Notas
1	17/05/2019	Alexandre Carvalho Ferreira Juliano Silveira Ferreira Luciano Leonel Mendes	Elaboração de conteúdo
2	10/06/2019	Luciano Leonel Mendes	Revisão de texto

Lista de Tabelas

2	Parâmetros técnicos das aplicações e os principais requisitos de rede de comunicação associados.	4
3	Distância do local de pesquisa e o ponto de acesso à rede de dados (<i>backhaul</i>). . .	8
4	Parâmetros das redes de comunicação consideradas na comunicação com dispositivos de baixo consumo.	11
5	Requisitos principais e ordem de valores relativos a rede de acesso dos dispositivos com alta restrição de consumo.	12
6	Requisitos e ordem de valores relativos as redes de acesso para os <i>gateways</i>	14
7	Características inicialmente consideradas para a estação Rádio Base.	15
8	Dificuldade de suporte da aplicação pela rede de comunicação.	17
9	Caracterização da comunicação nas aplicações de maior impacto citadas no relatório da atividade 1.1	20
10	Caracterização da comunicação nas aplicações de pesquisa de maior impacto citadas no relatório do BNDES.	21
11	Caracterização da comunicação nas aplicações de pesquisa de maior impacto citadas no relatório da atividade 1.2	22

Sumário

1	Introdução	1
2	Caracterização técnica das soluções de maior impacto econômico e social	2
2.1	Caracterizações técnicas complementares	5
2.1.1	Identificação da taxa de dados demandada pelas aplicações	5
2.1.2	Mobilidade das aplicações selecionadas	6
2.1.3	Área de cobertura requerida para atendimento das aplicações do agronegócio e áreas remotas	7
3	Definição dos principais parâmetros da rede de comunicação para o atendimento das aplicações selecionadas do agronegócio e áreas remotas	9
3.1	Rede de acesso dos dispositivos com alta restrição de consumo	10
3.2	Rede de acesso para os <i>gateways</i>	12
3.3	Características gerais da estação rádio base	15
4	Exequibilidade das aplicações comerciais selecionadas	16
5	Conclusões	18
6	Anexo	19

Acrônimos

ANM	Agência Nacional de Mineração	5
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social	2
FCC	Federal Communications Commission	5
GPS	<i>Global Positioning System</i>	2
HD	High Definition	5
IoT	<i>Internet of Things</i>	1
LPWAN	<i>low-power wide-area network</i>	7
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações	2
UHD	Ultra High Definition	5

1 Introdução

As aplicações de IoT (*Internet of Things*) em áreas remotas e no agronegócio englobam um grande universo de possibilidades, funcionalidades e tipos de dispositivos, conforme apresentado nos relatórios [1] e [2] elaborados durante a execução das atividades 1.1 e 1.2, respectivamente. A rede de comunicação necessária para suportar adequadamente tais aplicações deve levar em consideração os requisitos técnicos demandados, assim como os cenários de uso de tais aplicações.

O presente relatório apresenta uma caracterização técnica das aplicações de IoT no agronegócio e em áreas remotas que foram selecionadas em função de seu impacto econômico e social e que alavancam grupos de produtos estratégicos para a exportação brasileira, conforme análise apresentada em [3], elaborado durante a execução da atividade 1.3 deste projeto. Esta caracterização tem por objetivo orientar a identificação dos requisitos de desempenho e as características técnicas principais demandadas pela rede de comunicação, para que tais aplicações sejam suportadas e viabilizadas. Além disso, este relatório apresenta uma avaliação de exequibilidade técnica de implementação das aplicações selecionadas do relatório da atividade 1.1 [1]. A exequibilidade foi classificada principalmente em função da demanda de recursos requisitados da rede de comunicação para suportar cada aplicação.

2 Caracterização técnica das soluções de maior impacto econômico e social

Esta seção tem por objetivo caracterizar tecnicamente as aplicações de IoT selecionadas na área do agronegócio e em áreas remotas. As aplicações selecionadas são aquelas identificadas na atividade 1.1 e 1.2 do projeto 5G IoT que proporcionam alto ou médio impacto econômico e social e que alavancam grupos de produtos estratégicos para a exportação brasileira, conforme análise apresentada no relatório da atividade 1.3 do presente projeto [3]. Foram consideradas também para esta caracterização, as aplicações de destaque com alto e médio impacto econômico, cujos detalhes foram apresentados no anexo 2 do relatório [4] do projeto "Internet das Coisas: um plano de ação para o Brasil", executado pelo BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) em parceria com o MCTIC (Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações) [5][6]. A caracterização das aplicações foi realizada considerando os seguintes parâmetros técnicos gerais:

- Periodicidade de comunicação (leituras e acionamentos);
- Mobilidade dos dispositivos (sensores/atuadores) que são integrados na aplicação;
- Tipo de informação principal ou típica empregada em cada aplicação.

A caracterização detalhada de cada uma das aplicações selecionadas, segundo os parâmetros técnicos mencionados, está apresentada no Anexo (seção 6) deste documento. As Figuras 1, 2 e 3 apresentam gráficos com a consolidação das informações de caracterização das aplicações consideradas. A análise de tais gráficos permite concluir que as aplicações identificadas na atividade 1.1 e as atividades destacadas no relatório do BNDES apresentam valores bastante semelhantes entre si. As aplicações de pesquisa, por outro lado, apresentam uma maior discrepância nos resultados, quando comparadas às atividades do relatório do BNDES, pelo fato de utilizarem com maior intensidade a transmissão de imagens, vídeo e voz. Entretanto, pode-se considerar que as aplicações de pesquisa atuais podem impactar nas características das aplicações que estarão disponíveis comercialmente em um futuro próximo. A análise das Figuras 1, 2 e 3 permitem também identificar que a maior parte das aplicações requerem a transmissão de informações de maneira eventual para transporte de medidas e dados, e que empregam dispositivos fixos, nomádicos e móveis. A transmissão de informações de geolocalização baseada em GPS (*Global Positioning System*) também é bastante empregada pelas aplicações de uma maneira geral, enquanto que a transmissão de vídeo e voz é considerada principalmente pelas aplicações de pesquisa.

A Tabela 2 apresenta os principais requisitos gerais da rede de comunicação, associados a cada um dos parâmetros considerados na caracterização técnica das aplicações mostrada anteriormente: periodicidade de comunicação, mobilidade dos dispositivos e os tipos de informações contemplados. Pode-se notar que a rede de comunicação deve ser bastante flexível para atender adequadamente aos diferentes requisitos demandados.

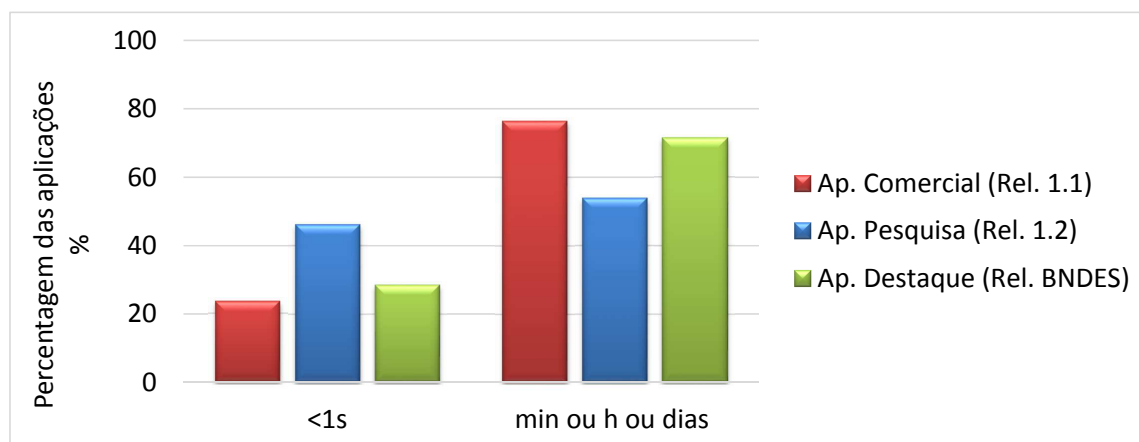


Figura 1: Periodicidade típica de comunicações das aplicações consideradas.

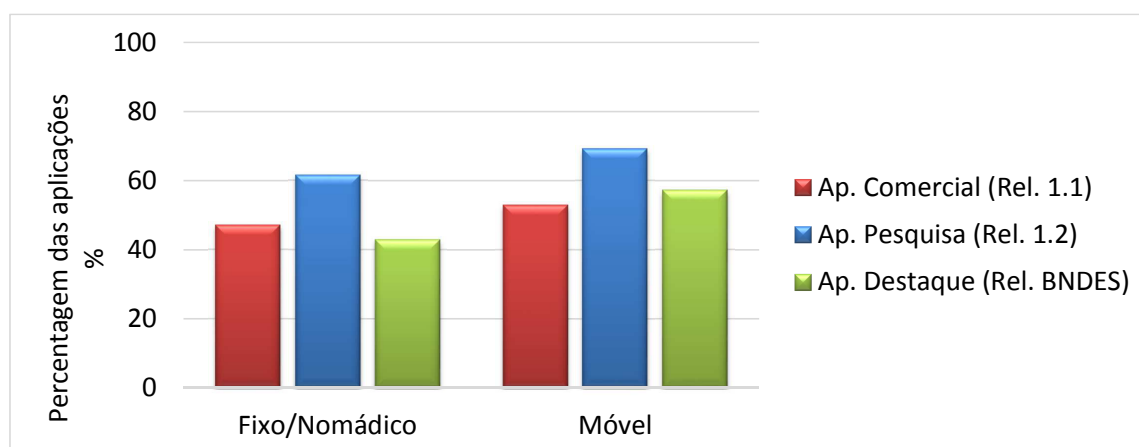


Figura 2: Mobilidade típica das aplicações consideradas.

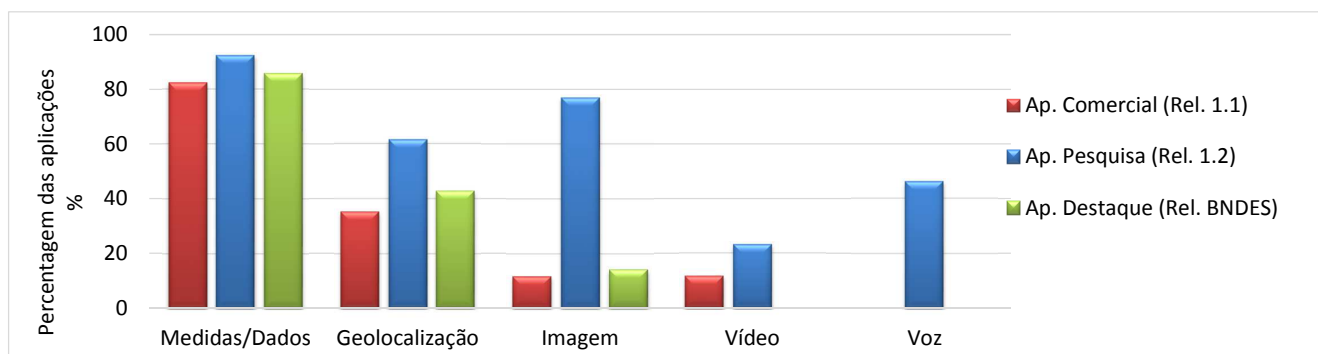


Figura 3: Tipos de dados principais empregados pelas aplicações consideradas.

Tabela 2: Parâmetros técnicos das aplicações e os principais requisitos de rede de comunicação associados.

Parâmetro	Opções	Descrição geral	Características principais da rede de comunicação
Periodicidade de Comunicação	~ms	Há necessidade de comunicação em "tempo real" entre dispositivos, para que a aplicação alcance seu objetivo.	- Requer rede de baixa latência; - Requer alta robustez de transmissão; - Inviabiliza a retransmissão de dados.
	min, h ou dias	A comunicação entre dispositivos ocorre de maneira eventual.	- Requer transmissão de dados em rajada; - Viabiliza a retransmissão de dados.
Mobilidade dos dispositivos utilizados na aplicação	Fixo ou Nomádico	Os dispositivos considerados são instalados em pontos fixos ou são "nômades" dentro da área da aplicação.	- Permite, em certos casos, selecionar locais de instalação que facilitem a comunicação.
	Móvel	Os dispositivos considerados tem mobilidade dentro da área de cobertura da aplicação.	- Requer maior robustez frente a múltiplos percursos e efeito Doppler.
Tipos de informações/típicas consideradas na aplicação	Medidas e dados	Transmissão de informações de maneira eventual, como no caso de leitura de sensores climáticos.	- Requer transmissão de dados em rajadas; - Requer transmissão dados da ordem de bytes a kbytes.
	Geo-localização	Transmissão de informação de latitude e longitude coletadas de GPS.	- Requer a transmissão de dados da ordem de bytes; - Requer baixa vazão de dados (bps); - Pode requerer rede de baixa latência, no caso de algumas aplicações específicas.
	Imagem	Transmissão de fotos realizada, normalmente, de maneira eventual.	- Vazão requerida depende do tipo de aplicação (Exemplo: 1 Mbps).
	Vídeo	Transmissão de vídeos (mais empregada nas aplicações de pesquisa).	- Requer transmissão contínua de dados; - Requer vazão de unidades a dezena de Mbps; - Pode requer rede de baixa latência.
	Voz	Requerida para a comunicação entre pesquisadores e produtores nas aplicações de pesquisa.	- Requer transmissão contínua de dados; - Pode requer rede de baixa latência.

2.1 Caracterizações técnicas complementares

A seguir estão apresentadas algumas caracterizações complementares mas, relevantes, das aplicações de IoT no agronegócio e em áreas remotas. Esta caracterização tem por objetivo orientar a definição de requisitos da rede de comunicação necessária para suportar tais aplicações.

2.1.1 Identificação da taxa de dados demandada pelas aplicações

As aplicações de IoT são normalmente associadas à transmissão de uma pequena quantidade de dados, conforme evidenciado na Seção 2. A quantidade de informações fornecida pela maioria dos sensores é da ordem de dezenas ou centenas de bytes e estas medidas são enviadas de maneira esporádica. É importante ressaltar, porém, que as aplicações de pesquisa, assim como as aplicações de segurança patrimonial e prevenção de desastres em áreas remotas, consideram a transmissão de um fluxo contínuo de vídeo. Com relação às aplicações de prevenção de desastres, pode-se destacar a recomendação da ANM (Agência Nacional de Mineração) para que seja empregado o monitoramento por vídeo para determinadas barragens de rejeitos de minérios [7]. Estas aplicações demandam, portanto, uma taxa de dados maior em relação à transmissão de medidas de sensores. Como referência, pode-se citar que câmeras de seguranças para aplicações de vigilância em geral, com resolução HD (High Definition), geram um fluxo de dados da ordem de 4 Mbps, considerando como padrão de compressão o H.264 [8]. Algumas aplicações, entretanto, podem requerer uma qualidade de vídeo maior, o que impacta no aumento da taxa requerida para a transmissão do fluxo de vídeo. Algumas câmeras de segurança consideram, por exemplo, o emprego de resolução UHD (Ultra High Definition)/4k, que podem gerar um tráfego da ordem de 60 Mbps.

O detalhamento das aplicações de pesquisa, apresentado no relatório 1.2 [2], menciona a necessidade da rede de comunicação viabilizar o acesso à Internet para realização de estudos e buscas por informações complementares às pesquisas, bem como a necessidade de comunicação com outros pesquisadores e produtores em campo. Como referência para a demanda de dados neste caso, pode-se citar as sugestões do FCC (Federal Communications Commission) com relação à taxa necessária para o acesso à internet em função do número de usuários e tipos de serviços acessados, conforme apresentado em [9]. A taxa sugerida para que até dois usuários tenham acesso simultâneo às funções consideradas como básicas da Internet, como a navegação, acesso a vídeos e comunicação VoIP, é de 3 a 8 Mbps. Esta mesma taxa de dados é recomendada para atender a um usuário que faça uso de funções básicas mencionadas, mais uma função de alta demanda, como a transmissão de fluxo de vídeo (*streaming*) HD de alta qualidade. O acesso às funções consideradas como básicas por até três usuários simultaneamente, mais a transmissão de um fluxo de vídeo HD de alta qualidade, por exemplo, eleva a recomendação da taxa de acesso para a faixa de 12 Mbps a 25 Mbps [9]. Esta mesma ordem de taxa de acesso pode atender a dois usuários com acesso simultâneo às funções básicas da Internet e suporte à transmissão de mais de um fluxo de vídeo de alta qualidade.

A captura e transmissão de vídeo em tempo real por drones não foi identificada como requisito explícito nas aplicações selecionadas para o agronegócio, além da função de auxílio visual à operação do drone. Alguns drones disponíveis no mercado realizam tal função fazendo uso da interface Wi-Fi ou algum padrão de comunicação proprietário. O drone modelo Mavic-2 Enterprise, fabricado pela empresa DJI, por exemplo, realiza a transmissão de vídeo em tempo real com uma taxa máxima de 40 Mbps, em distâncias e condições favoráveis de comunicação, fazendo uso de um padrão de comunicação proprietário [10].

Analisando as aplicações selecionadas de IoT para o agronegócio e áreas remotas, pode-se considerar que há pelo menos cinco grupos principais de dispositivos que podem ser atendidos com diferentes taxas de dados, conforme descrito a seguir:

- Dispositivos sensores e atuadores em geral: requerem uma taxa reduzida de comunicação na ordem de bps à centenas de kbps;
- *Gateways* que agrupam informações de múltiplos sensores ou que transmitem informações de imagens de maneira eventual: requerem uma taxa de comunicação da ordem de kbps a unidades de Mbps;
- *Gateways* que integram transmissão de vídeo para monitoramento e segurança: requerem ao menos a taxa de comunicação de 4 Mbps, podendo chegar a dezenas de Mbytes, dependendo da resolução e qualidade de vídeo considerada;
- *Gateways* que integram transmissão de vídeo de alta qualidade capturado por drones. Este tipo de aplicação demanda altas taxas de transmissão, na ordem de 25 à 60 Mbps, e com mobilidade.
- *Backhaul* necessário para prover acesso à Internet em áreas remotas: taxa requerida mínima na ordem de 3 à 8 Mbps por aplicação de pesquisa.

2.1.2 Mobilidade das aplicações selecionadas

A identificação da mobilidade a ser considerada pelos dispositivos a serem atendidos por uma rede de comunicação é de grande importância, uma vez que permite identificar a robustez requerida ao efeito Doppler, por exemplo.

De acordo com as informações apresentadas na Figura 2, pelo menos 50% das aplicações consideram o emprego de dispositivos fixos ou nomádicos e o restante considera o emprego de dispositivos com mobilidade. Com relação aos dispositivos com maior mobilidade considerados pelas aplicações selecionadas, pode-se destacar que os drones empregados no setor agropecuário atingem velocidades da ordem de 80 km/h [11]. Esta velocidade é alcançada durante o deslocamento do equipamento que é realizado de forma autônoma. Durante a realização de sua funcionalidade associada às aplicações do agronegócio, como por exemplo pulverização, a velocidade atingida é inferior. O drone de pulverização Agras MG-1, fabricado pela empresa DJI atinge velocidade máxima de deslocamento autônomo de 72 km/h e durante a pulverização alcança velocidade da ordem de 30 km/h [12]. Com relação aos maquinários agrícolas, a velocidade normalmente atingida por tratores, que podem ser considerados maquinário agrícolas de maior velocidade, é da ordem de 40 km/h. Alguns modelos especiais de tratores atingem velocidade máxima em torno de 60 km/h, porém, devem atender, segundo algumas legislações, a requisitos adicionais quanto ao sistema de suspensão e frenagem [13].

Assim, pode-se considerar que as aplicações selecionadas integram dispositivos fixos e nomádicos, além de dispositivos com mobilidade, cuja velocidade considerada pela maioria das aplicações é inferior a 60 km/h. Entende-se que maiores velocidades podem ser demandadas por algumas aplicações específicas, como no caso de logística, onde a velocidade de veículos de transporte pode atingir 120 km/h.

2.1.3 Área de cobertura requerida para atendimento das aplicações do agronegócio e áreas remotas

As tecnologias disponíveis e que atualmente são consideradas nas aplicações de agronegócio para a comunicação entre *gateways* e dispositivos sensores são as redes LPWAN (*low-power wide-area network*). Tais redes consideram distâncias de comunicação da ordem de 15 km [14]. Entende-se que esta distância de comunicação é compatível com boa parte das aplicações consideradas. Distâncias superiores, entretanto, podem ser requeridas quando se trata da comunicação em áreas remotas e em extensas áreas de cultivo.

O detalhamento das aplicações de pesquisa apresentadas no relatório da atividade 1.2 [2], por outro lado, contempla informações relacionadas à distância entre o local da realização da pesquisa e o ponto de acesso à rede de dados mais próxima. A Tabela 3 apresenta as distâncias mencionadas para as aplicações de pesquisa de maior impacto econômico e social conforme descrição realizada no relatório [3]. A maior distância mencionada na Tabela 3 é superior a 100 km, requerida por uma aplicação na região amazônica. Pode-se destacar que esta é uma aplicação específica e que neste ambiente a propagação de ondas de rádio sofre atenuação adicional em função da vegetação. A segunda maior distância citada na Tabela 3 é da ordem de 60 km. A aplicação em questão, intitulada de "Tecnologias habilitadoras para adoção da agricultura de precisão em sistemas de produção agrícola de grãos, fibras e cana-de-açúcar", menciona, com relação ao acesso à rede de dados, que há "deficiências na comunicação da equipe em tempo real durante os trabalhos de experimentação em campo, impossibilidade de coleta e transmissão eletrônica de dados experimentais e dificuldade para a realização de buscas na Internet sobre informações relacionadas ao trabalho". Pode-se destacar, porém, que a maioria dos locais das pesquisas tem distâncias inferiores a 30 km até o ponto de acesso à Internet.

Para fins de definição de uma referência inicial para os requisitos de rede, fica estabelecido como alvo a cobertura com um raio de 50 km para o prover acesso à Internet em áreas remotas. Entende-se, desta forma, que mais de 80% das aplicações selecionadas de pesquisa serão atendidas. Porém, deve ser previsto que aplicações que demandem distâncias superiores de comunicação possam também ser atendidas, desde que certas restrições adicionais sejam asseguradas como, por exemplo, condições favoráveis de instalação e maior limitação quanto a taxa de comunicação e mobilidade.

Tabela 3: Distância do local de pesquisa e o ponto de acesso à rede de dados (*backhaul*).

Título da Aplicação (seção do relatório 1.2)	Distância entre o local da pesquisa e a conexão de rede mais próxima
Uso eficiente de máquinas agrícolas (2.1.1)	15 km
Integração de processamento digital de imagens [...] para diagnóstico de plantas [...] (2.1.2)	20 km
Projeto Fluxus - Dinâmica de gases de efeito estufa [...] em [...] produção de grãos [...] (2.1.4)	30 km
Intercomparação, aprimoramento [...] de modelos de simulação [...] para [...] mudanças climáticas(2.1.5)	14 km
Produção Integrada na Região Amazônica (2.1.6)	>100 km
Irrigação do automatizada (2.1.7)	20 km
Cultivo protegido de melões [...] e caracterização de parâmetros fisiológicos e microclimáticos (2.1.8)	15 km
Validação de tecnologia para convivência com mal-do-Panamá em bananeira maçã (2.1.9)	20 km
Tecnologias habilitadoras [...] da agricultura de precisão [...] (2.1.10)	60 km
Pesquisa e desenvolvimento de novas cultivares de forrageiras [...] (2.2.1)	4 km
Estratégias microbiológicas e moleculares [...] para melhoramento de pastagens (2.2.2)	6 km
Fazenda Inteligente (2.2.3)	8 km
Fontes de zinco e fibra dietética em rações de leitões [...] (2.3.1)	3 km

3 Definição dos principais parâmetros da rede de comunicação para o atendimento das aplicações selecionadas do agronegócio e áreas remotas

A definição dos parâmetros requeridos para uma rede de comunicação deve envolver a análise de diversos aspectos e variáveis relacionados às aplicações a serem suportadas e aos cenários de uso de tais aplicações. A presente seção apresenta uma referência inicial dos requisitos principais da rede de comunicação demandados pelas aplicações selecionadas do agronegócio e áreas remotas. As definições apresentadas, a serem refinadas ao longo do projeto, utilizaram como base as caracterizações técnicas apresentadas na seção 2 do presente relatório.

A rede de comunicação demandada para suportar as aplicações de IoT selecionadas foi dividida em três sub-redes distintas, conforme descrição dada a seguir:

- Rede de acesso dos dispositivos com alta restrição de consumo: rede de comunicação direta com dispositivos alimentados por bateria e sem mecanismo de recarga (ex. colares com sensores instalados em animais);
- Rede de acesso para os *gateways*: rede de comunicação entre concentradores de dados/*gateways*, que possuem boa capacidade energética, e a estação rádio base;
- Rede de transporte (*backhaul*): rede de comunicação entre estação rádio base e o núcleo da rede e Internet.

A Figura 4 ilustra as sub-redes mencionadas.

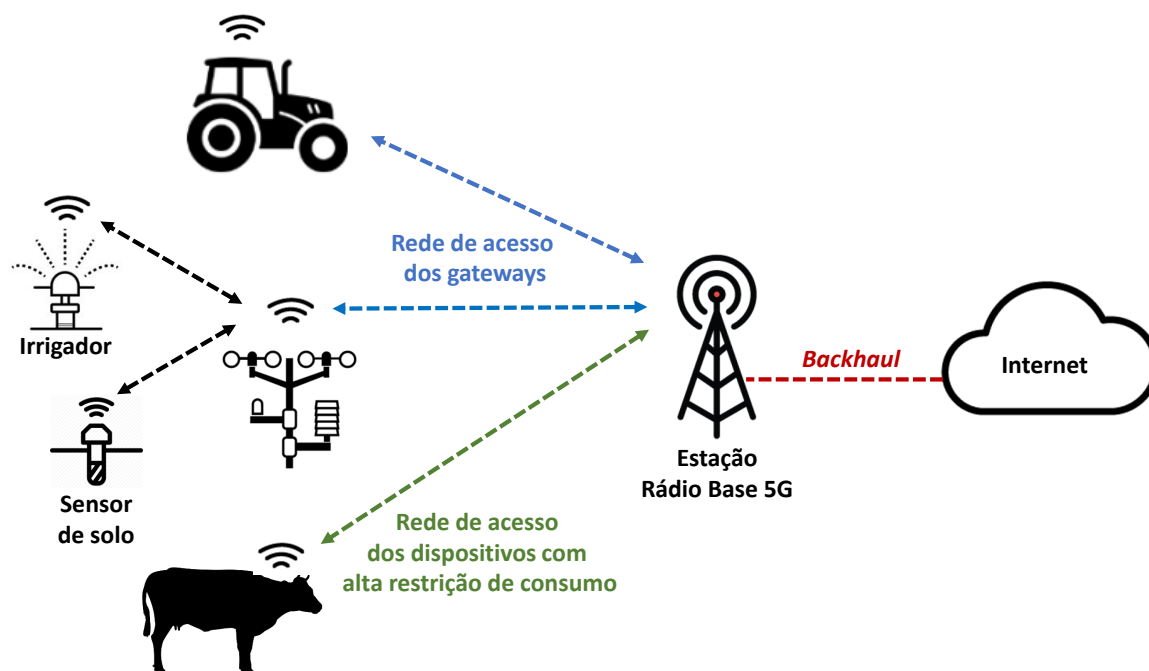


Figura 4: Redes de comunicação para suporte às aplicações de IoT.

As subseções seguintes apresentam maiores detalhes sobre os requisitos identificados com relação a cada uma das referidas sub-redes.

3.1 Rede de acesso dos dispositivos com alta restrição de consumo

Um importante parâmetro a ser considerado para caracterizar tecnicamente a rede de comunicação direta com dispositivos sensores das aplicações de IoT, incluindo aplicações para o agronegócio e para áreas remotas, se refere à forma de alimentação de tais dispositivos. Um grande número de aplicações considera o uso de equipamentos com grandes restrições de energia, alimentados por bateria, como ocorre no caso de sensores de solo e sensores instalados em animais. O tempo de duração da bateria destes dispositivos deve ser maximizada, sendo estabelecido um requisito geral para aplicações de IoT: a duração da bateria na ordem 10 anos [14]. A necessidade de maximizar o tempo de duração da bateria em tais dispositivos implica em uma rede de comunicação de baixo consumo energético, que é associada a uma reduzida largura de faixa. O emprego de uma banda estreita, por sua vez, implica, tipicamente, em uma rede de reduzida taxa de transmissão. Além disso, o número de acessos diários destes dispositivos, com objetivo de diminuir o consumo energético. Desta forma, os dispositivos passam a maior parte do tempo em um modo de baixo consumo de energia (modo *sleep*, ou seja "dormindo" ou "hibernando") e executam comunicação ou transmissão de dados de maneira eventual. A rede de comunicação deve, portanto, prever mecanismos de sincronização e transmissão de dados para dispositivos que operem desta forma.

As redes de comunicação empregadas atualmente na comunicação direta com dispositivos com restrições de energia consideradas pelas aplicações de IoT de maneira geral, são as redes LPWAN. Estas redes são caracterizadas por seu baixo consumo energético e longo alcance de cobertura. A Tabela 4 apresenta os detalhes técnicos das principais redes LPWAN consideradas pelas aplicações no agronegócio, além da rede de curto alcance ZigBee, que também é considerada em diversas aplicações devido a arquitetura *mesh* com a qual opera. Pode-se destacar, dentre as informações apresentadas na Tabela 4, a reduzida banda empregada pela maioria das tecnologias, na faixa de kHz, bem como o reduzido *payload* para a transmissão de dados, da ordem de bytes a kbytes; a baixa taxa de transmissão, que é da ordem de bps a kbps, e a alta expectativa de duração da bateria associada aos dispositivos que empregam tal rede de comunicação, na ordem de 10 anos. Além disso, pode-se destacar a área de cobertura proporcionada, da ordem de dezenas de km, para a maioria das redes citadas.

Tabela 4: Parâmetros das redes de comunicação consideradas na comunicação com dispositivos de baixo consumo.

Parâmetro	Rede de curto alcance	Redes de longo alcance (LPWAN)			
	ZigBee	SigFox	LoraWAN	LTE Cat-M1	NB-IoT
Máxima taxa	250 kbps	100/600 bps	50kbps	1 Mbps (mobile)/ 375 kbps (M2M)	200 kbps
Largura de banda	2 MHz	100/600 Hz	250 kHz 125 kHz	1,4 MHz	200 kHz
Comprimento do pacote de dados (payload)	127 bytes	12 bytes (UL) 8 Bytes (DL)	243 bytes	<700 bytes (otimiza consumo)	1600 bytes
Cobertura estimada (rural/campo aberto)	~1000m	10-50 km	5-20 km	>10 km	>15 km
Frequência	Bandas não licenciada (2,4 GHz)	Bandas não licenciadas (800/900 MHz)	Bandas não licenciadas (800/900 MHz)	Banda licenciada LTE	Banda licenciada LTE
Tipo de modulação	BPSK/O-QPSK	GFSK/BPSK	espalhamento espectral (CSS)	BPSK/QPSK	QPSK/OFDMA
Suporte a mobilidade	Não/limitada	Não/limitada	sim	Sim (300 km/h)	Limitada (fixo ou nomádico)
Suporte a voz	Não	Não	Não	Sim	Não
Latência	> 60 ms	1-30 s	>40 ms	15 ms	1,6 a 10 s
Duração estimada da bateria (anos)	<5	>10	>10	5 a 10	>10

Como foi apresentado na Seção 2, a maioria das aplicações selecionadas de IoT nas áreas do agronegócio e áreas remotas consideram o emprego de dispositivos que transmitem medidas de sensores, dados e informações de geolocalização de maneira eventual. A comunicação com tais dispositivos pode ser, portanto, suportada por redes LPWA ou redes compatíveis com as mesmas. Na prática, as aplicações de IoT consideram o emprego de um *gateway* que se comunica com os sensores via rede LPWA, fazendo uso de menor potência de transmissão, e que se comunica também com a estação rádio-base do sistema fazendo uso de uma segunda rede de comunicação, por exemplo, 4G.

A Tabela 5 apresenta um resumo de requisitos principais e ordem de grandeza de valores associados, referentes a rede de comunicação com dispositivos de alta restrição energética. Pode-se destacar como requisito adicional deste tipo de rede, a necessidade de se prever mecanismos de suporte a dispositivos que realizam transmissão eventual de dados e que operam em modo de hibernação (*sleep*). Dentre tais mecanismos, pode-se destacar que a sincronização e registro do dispositivo na estação rádio-base deve ocorrer em um reduzido tempo.

Tabela 5: Requisitos principais e ordem de valores relativos a rede de acesso dos dispositivos com alta restrição de consumo.

Descrição da rede	Taxa	Mobilidade	Largura de banda	Cobertura	Duração de bateria
Rede de comunicação direta com dispositivos com restrição de consumo energético	~100 kbps	Fixo/nomádico e móvel de baixa velocidade (ex. animais)	~200 kHz	~15 km	~10 anos (Suporte à operação em modo <i>sleep</i>)

3.2 Rede de acesso para os *gateways*

A rede de acesso para os *gateways* viabiliza a comunicação entre estes dispositivos a estação rádio base do sistema. As aplicações de IoT, de maneira geral, consideram o emprego das redes LPWA para a comunicação com sensores associada a redes celulares ou redes sem fio locais para a comunicação de *gateways* com a Internet e também para o suporte aos dispositivos que demandam comunicação em baixa latência e maior taxa de dados, e que possuem menor restrição quanto ao consumo energético [15].

No caso das aplicações do agronegócio, é importante destacar que em diversas aplicações os sensores e atuadores são integrados ao *gateway*, como ocorre normalmente nas estações meteorológicas e nas aplicações de gerenciamento de maquinários. Estes *gateways* concentram as informações de um número reduzido de sensores. Há entretanto, aplicações em que o *gateway* é responsável por consolidar as informações de um número maior de sensores, como no caso do *gateway* que realiza a leitura de informações dos dispositivos instalados nos animais de um determinado rebanho.

No caso dos *gateways* empregados nas aplicações do agronegócio e áreas remotas e que são instalados em pontos fixos, a alimentação é normalmente realizada através da rede elétrica. Quando a rede elétrica é inacessível, emprega-se a alimentação por bateria associada a painéis solares para recarga, como ocorre no caso de estações meteorológicas e estações de pesagens de animais no campo. Neste caso, tem-se disponível uma capacidade energética maior, quando comparada aos dispositivos com alta restrição energética. Os dispositivos e *gateways* instalados

em equipamentos como maquinários agrícolas, robôs e drones são normalmente alimentados pela bateria do equipamento em questão, onde se tem também uma boa capacidade de fornecimento de energia.

Pode-se agrupar os *gateways* das aplicações selecionadas do agronegócio e áreas remotas em dois grupos principais:

- *Gateway* de baixa vazão: transmitem informações de medidas de sensores e imagens;
- *Gateway* com suporte a transmissão de vídeo: integram a transmissão de vídeo para as aplicações de pesquisa, monitoramento e segurança.
- *Gateway* com suporte a transmissão vídeo e mobilidade: transmitem vídeos gerados por drones durante a execução de sua funcionalidade no agronegócio;

A Tabela 6 apresenta um resumo dos requisitos e a ordem de grandeza de valores associados à rede de comunicação com *gateways*. A definição da ordem dos valores apresentada utilizou como base as caracterizações das aplicações e cenários mostrados na Seção 2 do presente documento.

Tabela 6: Requisitos e ordem de valores relativos as redes de acesso para os *gateways*.

Tipos de <i>gateways</i>	Taxa (<i>Uplink</i>)	Tipo de Mobilidade	Cobertura	Ordem de Latência	Exemplo de aplicações atendidas	Observações
<i>Gateway</i> de baixa vazão	~1 Mbps	Fixo ou nômade	> 10 km	~50 ms	Estação meteorológica, irrigação, cont. pragas	Considerado em mais de 50% das aplicações
		Móvel < 60 km/h	> 10 km		Maquinários agrícolas, monit. animais, drones, robôs.	Considerado em mais de 50% das aplicações
		Móvel < 120 km/h	> 10 km		Logística	Considerado apenas para logística
<i>Gateway</i> com suporte a vídeo	> 4 Mbps	Fixo/nômádeco	> 10 km	~100 ms	Segurança e aplicações de pesquisa que requerem transmissão de vídeo	Considerado por 12% das ap. comerciais e 23% das ap. pesquisa
<i>Gateway</i> com suporte a vídeo e mobilidade	~ 60 Mbps	móvel (< 80 km/h)	~ 10 km		Vídeo de alta qualidade (4k) capturado por drones durante execução de sua função agrícola	Não requerido ou considerado nas aplicações

3.3 Características gerais da estação rádio base

A Tabela 7 apresenta características gerais que podem ser inicialmente consideradas para a rede de comunicação a ser disponibilizada pela estação rádio base 5G para o atendimento das aplicações de IoT no agronegócio e áreas remotas. A capacidade de comunicação da ordem de 100 Mbps permite a estação Rádio Base atender cerca de 12 aplicações de pesquisa que transmitam vídeos de alta qualidade simultaneamente, ou atender a demanda de dezenas de usuários que realizam acesso simultâneo aos serviços básicos da Internet. O raio de cobertura citado de 50 km permite à estação rádio base atender a mais de 85% das aplicações de pesquisa identificadas e que requerem acesso à Internet em áreas remotas, conforme apresentado na Seção 2.1.3. Distâncias maiores podem ser demandadas, e devem ser consideradas certas restrições para o atendimento como por exemplo, redução da taxa de comunicação e mobilidade, além de melhores condições de recepção de sinal como o emprego de antenas externas mais diretivas.

Tabela 7: Características inicialmente consideradas para a estação Rádio Base.

Taxa de dados (downlink)	Raio de cobertura
100 Mbps (dispositivo fixo)	50 km

4 Exequibilidade das aplicações comerciais selecionadas

A seguir está apresentada uma análise da exequibilidade das aplicações selecionadas de IoT na área do agronegócio e em áreas remotas identificadas na atividade 1.1, que proporcionam alto ou médio impacto econômico e social e que alavancam grupos de produtos estratégicos para a exportação brasileira, conforme análise apresentada no relatório da atividade 1.3 do presente projeto [3]. A análise considerou apenas as aplicações selecionadas do relatório 1.1 [1], pois se refere a aplicações sobre as quais se tem mais detalhes técnicos [2]. A análise de exequibilidade considera os requisitos demandados da rede de comunicação por cada aplicação.

A seguir estão apresentados os graus de dificuldade considerados com relação ao suporte da rede e às respectivas demandas associadas a tal classificação:

- Baixa dificuldade: consideradas como grau de dificuldade baixa, as aplicações que demandam acesso de dispositivos fixos e nomádicos, baixa taxa de dados, raio de cobertura reduzido (ex. 10 km);
- Média dificuldade: consideradas como grau de média dificuldade, as aplicações que demandam acesso de dispositivos móveis com velocidade de até 60 km/h;
- Alta dificuldade: consideradas como alta dificuldade, as aplicações que demandam acesso de dispositivos com restrição energética, comunicação com dispositivos de alta mobilidade associados a alta taxa de dados, raio de cobertura superior a 50 km ou baixa latência de rede;

A Tabela 8 apresenta, para cada aplicação selecionada, o grau de dificuldade de suporte pela rede de comunicação segundo os critérios estabelecidos. As aplicações que consideram o emprego de dispositivos fixos e nomádicos ou com baixa mobilidade ($< 60\text{km/h}$), foram consideradas como grau de dificuldade baixa e média. A maior parte das aplicações consideradas como sendo de alto grau de dificuldade são aquelas associadas a dispositivos com alta restrição energética ou alta mobilidade.

Tabela 8: Dificuldade de suporte da aplicação pela rede de comunicação.

Título da Aplicação (seção do relatório 1.1)	Grau de Dificuldade	Observações sobre requisitos de rede
Sistemas de monitoramento meteorológico (3.1)	Baixo	Comunicação com <i>gateway</i> fixo.
Sensoriamento do solo (3.2)	Alto	Dispositivos com restrição energética
Sistemas de identificação e controle de pragas e doenças (3.3)	Baixo	A armadilha é um <i>gateway</i> fixo, transferência eventual de dados.
Sistemas inteligentes de irrigação associados ao monitoramento das condições ambientais e do solo (3.4)	Alto	Dispositivos com restrição energética
Controle do cultivo em ambiente protegido como estufas climatizadas (3.5)	Baixo	Dispositivos fixos, ambiente controlado.
Drones e imagens aéreas (3.6.1)	Médio	Mobilidade (<60km/h)
Drones e redes de sensores sem fio(3.6.2)	Alto	Mobilidade (<60km/h); Dispositivos com restrição energética
Robôs para pulverização e remoção de ervas daninhas (3.6.3)	Médio/Alto	Mobilidade (<60km/h); Para controle requer baixa latência;
Gerenciamento de maquinários agrícolas (3.7)	Médio	Mobilidade (<60 km/h)
Sistemas de monitoramento e rastreamento de rebanhos(4.1)	Alto	Dispositivos com restrição energética
Sensoriamento da saúde e comportamento animal(4.2)	Alto	Dispositivos com restrição energética
Monitoramento de peso em rebanhos (4.3)	Baixo	Gateways fixos para coleta de dados.
Sistemas de monitoramento de logística (5.1)	Alto	Mobilidade (~110 km/h) e grande área de cobertura
Prevenção de desastres (6.1)	Alto	Baixa latência, Alta disponibilidade e grande área de cobertura;
Monitoramento de florestas (6.2)	Alto	Grande área de cobertura associada a grande atenuação por florestas;
Segurança patrimonial (6.3)	Médio	Mobilidade (<60km);

5 Conclusões

O presente relatório apresentou uma caracterização técnica das aplicações de IoT no agro-negócio e em áreas remotas, que foram selecionadas em função de seu impacto econômico e social e que alavancam grupos de produtos estratégicos para a exportação brasileira. A partir desta caracterização, foram definidos requisitos principais demandados pela rede de comunicação e a ordem de grandeza de valores para que tais aplicações sejam suportadas e viabilizadas. Foi evidenciada a existência de diferentes sub-redes de comunicação com diferentes objetivos e requisitos para o correto atendimento das aplicações de IoT. Os requisitos apresentados podem servir de base para orientar a definição da rede 5G a ser desenvolvida ao longo do projeto 5G IoT.

Além disso, foi apresentada uma avaliação de exequibilidade técnica de implementação das aplicações comerciais selecionadas em função da demanda de recursos da rede. De uma maneira geral, as aplicações que demandam comunicação com dispositivos com restrição energética foram considerados como de alta dificuldade de suporte pela rede, devido ao fato dos mesmos exigirem mecanismos específicos para redução do consumo energético como, por exemplo, rápida sincronização de dispositivos, transmissão de dados de maneira eventual envolvendo uma grande densidade de dispositivos. A transmissão de informações para dispositivos com alta velocidade e que requer baixa latência também foram classificados como de alta dificuldade de suporte pela rede.

6 Anexo

O anexo apresenta a caracterização de cada uma das aplicações de IoT no agronegócio e em áreas remotas, que foram selecionadas de acordo com os critérios descritos na Seção 2. A caracterização considera os parâmetros técnicos também descritos na referida seção. A Tabela 9 apresenta a caracterização das atividades selecionadas dentre aquelas identificadas na atividade 1.1, cujo detalhamento encontra-se apresentado no relatório [1]. A Tabela 10, por sua vez, apresenta a caracterização das aplicações de destaque dentre aquelas de alto e médio impacto econômico e que foram detalhadas no Anexo 2 do relatório [4] do projeto do BNDES. A Tabela 11 apresenta a caracterização das atividades de pesquisa, detalhadas no relatório da atividade 1.2 [2]. A consolidação das informações destas tabelas estão apresentadas na Seção 2.

Tabela 9: Caracterização da comunicação nas aplicações de maior impacto citadas no relatório da atividade 1.1

Título da Aplicação (seção do relatório 1.1)	Periodicidade de Comunicação		Mobilidade Típica		Medidas e Dados	Informações Principais/Típicas			
	ms ou s	min, h ou dias	Fixo ou Nomádico	Móvel		Geo-localização	Imagem	Vídeo	Voz
Sistemas de monitoramento meteorológico (3.1)		✓	✓		✓				
Sensoriamento do solo (3.2)		✓	✓		✓				
Sistemas de identificação e controle de pragas e doenças (3.3)		✓	✓				✓		
Sistemas inteligentes de irrigação associados ao monitoramento das condições ambientais e do solo (3.4)		✓	✓		✓				
Controle do cultivo em ambiente protegido estufas climatizadas (3.5)		✓	✓		✓				
Drones e imagens aéreas (3.6.1)		✓		✓			✓		
Drones e redes de sensores sem fio(3.6.2)	✓			✓	✓				
Robôs para pulverização e remoção de ervas daninhas (3.6.3)		✓		✓	✓	✓			
Gerenciamento de maquinários agrícolas (3.7)	✓			✓	✓	✓			
Sistemas de monitoramento e rastreamento de rebanhos(4.1)		✓		✓	✓	✓			
Sensoriamento da saúde e comportamento animal(4.2)		✓		✓	✓				
Monitoramento de peso em rebanhos (4.3)		✓	✓		✓				
Sistemas de monitoramento de logística (5.1)		✓		✓	✓	✓			
Sistemas para rastreabilidade de produtos (5.2)		✓		✓	✓				
Prevenção de desastres (6.1)	✓		✓		✓				
Monitoramento de florestas (6.2)		✓	✓		✓				
Segurança patrimonial (6.3)	✓	✓		✓	✓	✓		✓	

Tabela 10: Caracterização da comunicação nas aplicações de pesquisa de maior impacto citadas no relatório do BNDES.

Título da Aplicação (seção do relatório do BNDES)	Periodicidade de Comunicação		Mobilidade Típica		Informações Principais/Típicas			
	ms ou s	min, h ou dias	Fixo ou Nomádico	Móvel	Medidas e dados	Geo-localização	Imagem	Vídeo
Monitoramento de Microclima (2.1)		✓	✓		✓			
Gestão de pragas (2.2)		✓	✓				✓	
Monitoramento de localização e comportamento (2.3)		✓		✓	✓	✓		
Monitoramento da saúde animal (2.4)		✓		✓	✓			
Monitoramento do peso e alimentação animal (2.5)	✓		✓		✓			
Gestão de desempenho de máquinas (2.6)	✓			✓	✓	✓		
Produtividade humana por analytics (2.7)		✓		✓	✓	✓		

Tabela 11: Caracterização da comunicação nas aplicações de pesquisa de maior impacto citadas no relatório da atividade 1.2

Título da Aplicação (seção do relatório 1.2)	Periodicidade de Comunicação		Mobilidade Típica		Medidas e dados	Informações Principais/Típicas			
	ms ou s	min, h ou dias	Fixo ou Nomádico	Móvel		Geo-localização	Imagem	Vídeo	Voz
Uso eficiente de máquinas agrícolas (2.1.1)	✓			✓	✓	✓			
Integração de processamento digital de imagens [...] para diagnóstico de plantas [...] (2.1.2)		✓		✓			✓		
Projeto Fluxus - Dinâmica de gases de efeito estufa [...] em [...] produção de grãos [...] (2.1.4)	✓			✓	✓	✓			
Intercomparação, aprimoramento [...] de modelos de simulação [...] para [...] mudanças climáticas(2.1.5)		✓			✓		✓		
Produção Integrada na Região Amazônica (2.1.6)		✓				✓		✓	
Irrigação do automatizada (2.1.7)	✓		✓	✓	✓	✓	✓		
Cultivo protegido de melões [...] e caracterização de parâmetros fisiológicos e microclimáticos (2.1.8)		✓	✓		✓				
Validação de tecnologia para convivência com mal-do-Panamá em bananeira maçã (2.1.9)	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tecnologias habilitadoras [...] da agricultura de precisão[...] (2.1.10)		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Pesquisa e desenvolvimento de novas cultivares de forrageiras [...] (2.2.1)		✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓
Estratégias microbiológicas e moleculares [...] para melhoramento de pastagens (2.2.2)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Fazenda Inteligente (2.2.3)	✓		✓	✓	✓	✓	✓		✓
Fontes de zinco e fibra dietética em rações de leitões [...] (2.3.1)	✓		✓	✓	✓		✓		

Referências

- [1] Centro de Referência em Radiocomunicação (CRR), Inatel, “Atividade 1.1 - Levantamento de aplicações do IoT em áreas remotas/rurais,” *5G IoT*, Março 2019.
- [2] Centro de Referência em Radiocomunicação (CRR) - Inatel, “Atividade 1.2 - Levantamento das aplicações de pesquisa no ambiente do agronegócio que possam ser beneficiadas por soluções de IoT e por soluções de conectividade de longo alcance,” *5G IoT*, Março 2019.
- [3] Centro de Referência em Radiocomunicação (CRR)-Inatel, “Atividade 1.3 - Definição das aplicações, dentre as levantadas nas atividades 1.1 e 1.2, com maior potencial de impacto social e econômico para o Brasil,” *5G IoT*, Março 2019.
- [4] Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) , “Internet das coisas: um plano de ação para o brasil, produto 7c: Aprofundamento de verticais – rural,” *BNDES e MCTIC*, Dez 2017.
- [5] —, “Internet das coisas: um plano de ação para o brasil, produto 8:relatório do plano de ação,” *BNDES e MCTIC*, Nov 2017.
- [6] “BNDES e MCTIC, Internet das Coisas: um plano de ação para o Brasil.” [Online]. Available: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/pesquisaedados/estudos/estudo-internet-das-coisas-iot/estudo-internet-das-coisas-um-plano-de-acao-para-o-brasil>
- [7] Agência Nacional de Mineração, “Nota à Imprensa,” . <http://www.anm.gov.br/noticias/nota-a-imprensa-2>, 2018, acesso: 29-abril-2019.
- [8] F. Adelantado, X. Vilajosana, P. Tuset-Peiro, B. Martinez, J. Melià-Seguí, and T. Watteyne, “Understanding the limits of lorawan,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 9, pp. 855 – 873, Setembro 2017.
- [9] FCC, “Household Broadband Guide,” . <https://www.fcc.gov/research-reports/guides/household-broadband-guide>, 2018, acesso: 29-abril-2019.
- [10] DJI, “Mavic 2 Enterprise,” . <https://www.dji.com/br/mavic-2-enterprise/infospecs>, 2019, acesso: 30-março-2019.
- [11] Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO, “E-agriculture in action: drones for agriculture,” *FAO*, 2018, acesso: 12-Março-2019. [Online]. Available: <http://www.fao.org/3/I8494EN/i8494en.pdf>
- [12] DJI, “Agras MG-1,” . <https://www.dji.com/br/mg-1/infodownloads>, 2019, acesso: 30-março-2019.
- [13] gov.uk, “Tractors and regulatory requirements: a brief guide September 2017,” . <https://www.gov.uk/government/publications/tractors-regulations-on-use/tractors-and-regulatory-requirements-a-brief-guide-september-2017>, 2019, acesso: 30-março-2019.

- [14] K. Mekkia, E. Bajica, F. Chaxela, and F. Meyerb, “A comparative study of lpwan technologies for large-scale iot deployment,” *ICT Express*, vol. 5, no. 1, pp. 1–7, Janeiro 2017.
- [15] E. Migabo, K. Djouani, A. Kurien, and T. Olwal, “A comparative survey study on lpwa networks:lora and nb-iot,” *Future Technologies Conference (FTC) 2017*, Novembro 2017.