



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CATEGORIA (3)

EXPANSÃO DA ÁREA DE COBERTURA DO SISTEMA DE RADIOCOMUNICAÇÃO UTILIZADO NA CBTU/NAT

1. INTRODUÇÃO

A expansão de linhas férreas é uma estratégia para atender o aumento da demanda por transporte público e melhorar a mobilidade urbana. Nesse sentido, com investimento do Governo Federal, deu-se início à construção de uma nova linha férrea em meados de 2022 na região metropolitana do NATAL-RN, denominada "Linha Branca", consistindo em aproximadamente 23,4 km de linha ferroviária, partindo da estação Parnamirim-RN até a cidade de Nísia Floresta-RN, e composta por cinco estações: Boa Esperança, Cajupiranga, Bomfin, São José e Nísia Floresta.

No entanto, ao planejar a extensão de uma linha férrea, surgem desafios significativos. Um dos principais problemas é a falta de cobertura do atual sistema de radiocomunicação na nova extensão. A ausência de uma comunicação eficaz pode comprometer a segurança e a eficiência das operações ferroviárias, impactando negativamente a experiência dos passageiros e a coordenação entre as equipes de operação.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A exemplo, é fundamental integrar o projeto de expansão do sistema de radiocomunicação com a infraestrutura existente. É necessário avaliar a compatibilidade e a interoperabilidade entre os sistemas. Além disso, a avaliação das áreas de cobertura representa um desafio significativo. A geografia variada da região metropolitana de Natal—que abrange áreas urbanas densas, zonas rurais e possíveis obstáculos naturais—dificulta a garantia de uma cobertura homogênea.

Portanto, por meio de um estudo de caso, o presente trabalho buscará identificar os pré-requisitos necessários para realizar uma expansão do sistema de radiocomunicação utilizado pela empresa CBTU/STU-NAT, contribuindo assim, para uma perfeita e segura atividade ferroviária de transporte de passageiros na região metropolitana da cidade de Natal-RN.

2. DIAGNÓSTICO

Inicialmente, foi realizado um levantamento da qualidade do sinal de radiocomunicação no novo trecho da linha férrea, Linha Branca, utilizando o sistema de rádio existente na CBTU. Antes da expansão, o sistema contava com apenas duas estações rádio base (ERB): uma no bairro de Santa Catarina, em Natal, e a outra em Extremoz-RN.

O levantamento da qualidade do sinal de rádio ao longo do trecho de 23,4 Km da linha branca foi efetuado a partir de um *DriveTest*, com o intuito de identificar melhorias de infraestrutura, determinação de área de cobertura, pontos de sombreamento e detecção de problemas de desempenho do sistema.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

O *DriveTest* utilizou um sistema irradiante instalado em um veículo ferroviário de pequeno porte, Figura 1, simulando o sistema de rádio do Veículo leve sobre trilho (VLT). Durante o percurso do teste, o software MOTOTRBO SITESURVEY R05 adquiriu a posição geográfica em intervalos de tempo previamente determinados: para este caso, 20 segundos de intervalo entre as capturas de informação.



Figura 1 – Veículo ferroviário de pequeno porte. Fonte: Autor



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

O software tem a capacidade de armazenar, em seu banco de dados, coordenadas geográficas, ID do rádio emissor do sinal, bem como, nível de sinal ou potência de recepção do rádio.

Para a realização do referido *DriveTest*, os seguintes equipamentos foram utilizados:

- Repetidora Digital VHF, modelo SLR5100, montada a uma altura 30 metros com auxílio de um caminhão tipo Munck;
- Rádio Móvel Digital VHF, modelo DGM8500 dotado de GPS e com opção de conexão a software próprio;
- Computador Portátil dotado de software MOTOTRBO SITESURVEY R05;

Infraestrutura do teste exigiu a utilização de um veículo ferroviário dotado de um rádio transceptor móvel digital VHF, um computador portátil executando o software de predição com capacidade de atualizar a posição geográfica em intervalos de tempo pré-definidos, bem como armazenar, em seu banco de dados, coordenadas geográficas, ID do rádio móvel e nível de sinal de recepção do rádio móvel.

Além disto, foram usadas duas repetidoras digitais instaladas e conectadas, cada uma, em uma ERB do sistema de comunicação em uso: ERB-Extremoz e ERB-Santa Catarina.

3. PROCEDIMENTO DO TESTE DE COBERTURA

Com objetivo de verificar os níveis de sinal do sistema de rádio digital da CBTU/STU-NAT, foi elaborada uma estrutura conforme apresentado na Figura 02.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

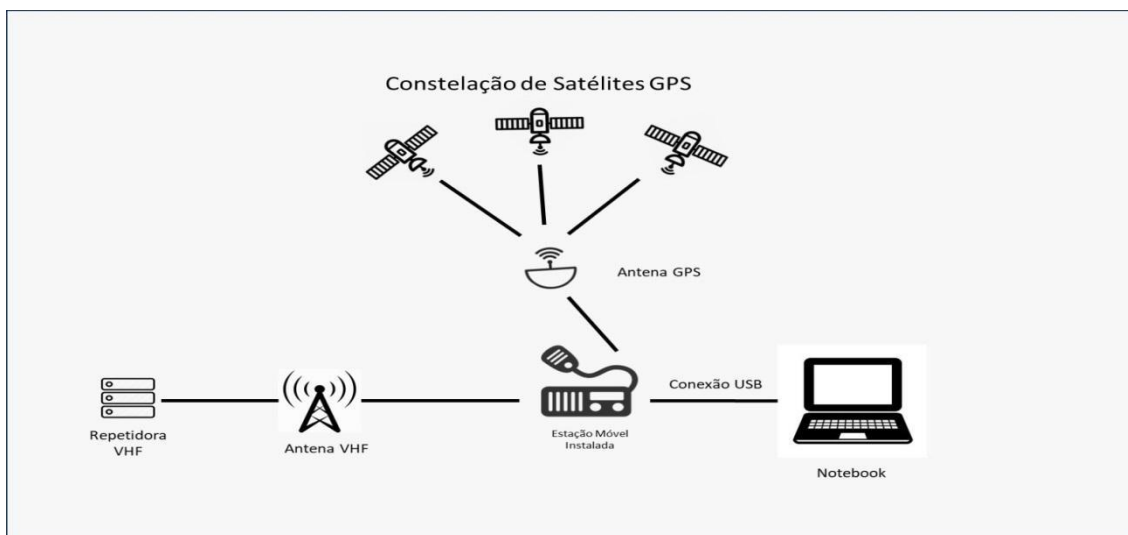


Figura 2 – Procedimento de teste. Fonte: Autor

Um rádio móvel foi configurado com a frequência de recepção do repetidor em seu transmissor e a frequência de transmissão do repetidor em seu receptor, replicando o funcionamento do transmissor e receptor do veículo ferroviário.

Além disso, uma antena GPS foi instalada no veículo ferroviário, permitindo a marcação precisa de pontos geográficos. O software foi responsável por transmitir comandos ao dispositivo e armazenar os dados adquiridos. Para testar a comunicação dos equipamentos, foi utilizado um rádio portátil dentro da cabine do veículo ferroviário, mantendo contato constante com o centro de controle (CCO) da CBTU/NAT.

3.1. ANÁLISES DAS MEDIÇÕES

Devido à sensibilidade dos rádios digitais da série MOTOTRBO/MOTOROLA, -120 dBm, o equipamento é capaz de decodificar dados com sinais de até esse nível. Para garantir os pré-requisitos de segurança e continuidade operacional, foi adotada uma



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

margem de segurança de -113 dBm, conforme especificado na documentação técnica do sistema de radiocomunicação já utilizado pela CBTU/STU-NAT.

As informações sobre o local geográfico são apresentadas pelo software em forma de coordenadas geográficas e intensidade do sinal de recepção. A posição geográfica fornece a localização exata da medição, enquanto a intensidade do sinal é indicada pela cor do marcador e pelo valor da medição.

O procedimento de medições deu-se início na estação ferroviária Parnamirim e seguiu em direção à estação ferroviária Nísia Floresta.

Pelos resultados, figuras 3 e 4, comprovou-se a inexistência parcial de disponibilidade do sistema de radiocomunicação em uso.

Uma proposta de melhoria a ser considerado, a fim de viabilizar a expansão da malha ferroviária da CBTU/STU-NAT, é a realização de uma ampliação no sistema de radiocomunicação já utilizado, mantendo-se todas as demais funcionalidades.

Para garantir a conectividade adequada com as duas estações rádio base já existentes no sistema, ERB Extremoz e ERB Santa Catarina, é necessário instalar uma nova estação rádio base equipada (ERB) com toda a infraestrutura necessária.

Não foi considerada como proposta de melhoria o aumento de potência de transmissão irradiada pelas ERB's Extremoz e Santa Catarina, já que a CBTU/STU-NAT, através da Licença Para Funcionamento de Estação Nº 05/2018 - RN, já opera dentro dos limites estabelecidos, seguindo as orientações contidas no Anexo à Resolução nº 303, de julho de 2002, emitida pela ANATEL, ficaram recomendados os níveis de exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos para exposição do público em geral e/ou ocupacional a fim de garantir a saúde e bem-estar.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 3 - Cobertura para estação móvel – ERB Extremoz e ERB Santa Catarina, Fonte: Autor



Figura 4: Legenda de Cores. Fonte: Autor.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

O Gráfico 01 ilustra o panorama quanto ao recebimento de sinal de rádio em VHF (Very High Frequency) ao longo do percurso de *drivetest*.

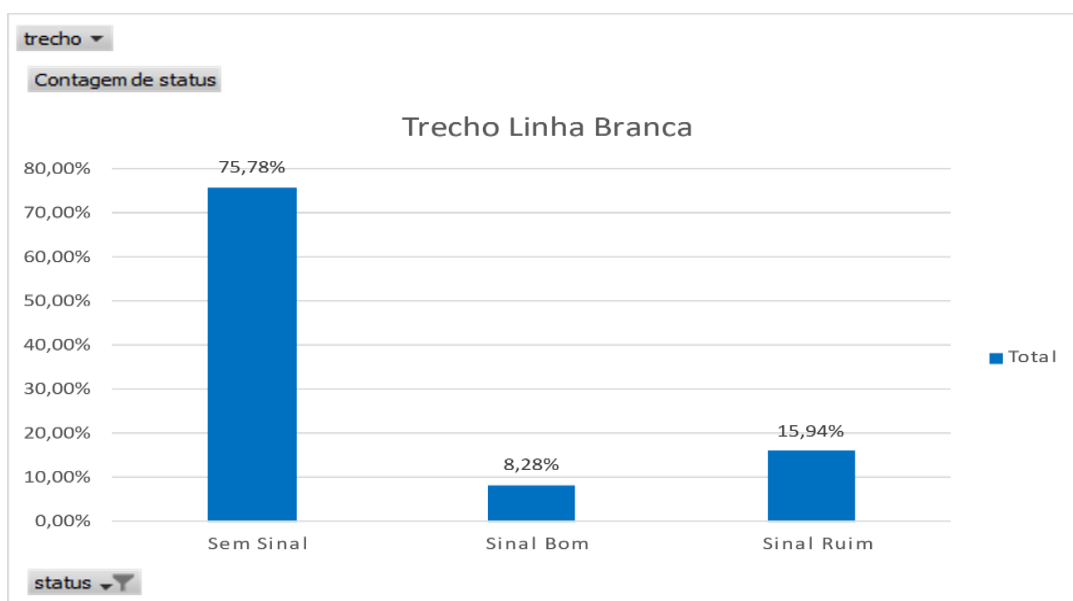


Gráfico 1: Qualificação do sinal em percentagem. Fonte: Autor.

4. PROPOSTAS DE MELHORIA

4.1. Definição de local de instalação

Existem várias considerações importantes a serem feitas ao escolher um local para instalar uma torre de telecomunicações. Algumas das principais são:



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Para garantir a eficiência da comunicação entre estações rádio base (ERBs) via enlace de micro-ondas na banda de 5GHz, é essencial considerar os seguintes fatores ao instalar uma nova torre:

- **Altitude:** A torre deve ser suficientemente alta para obter visada direta, evitando obstáculos que possam obstruir o sinal. A topografia e características do terreno devem ser avaliadas para determinar a altura ideal.
- **Acesso:** O local deve permitir acesso fácil e seguro para manutenção e transporte de equipamentos.
- **Estabilidade do solo:** A estrutura pesada da torre requer um solo estável, e uma avaliação geotécnica deve ser realizada para garantir que o solo suporta a torre e seus equipamentos.
- **Distância de outras torres:** A distância adequada entre a nova torre e as existentes é crucial para evitar interferências e garantir uma boa qualidade de sinal.
- **Regulamentação local:** É fundamental verificar e cumprir as regulamentações locais relacionadas à instalação de torres, incluindo zoneamento, uso do solo e impacto ambiental.

O perfil de avaliação de altitude foi realizado utilizando o Google Earth, já que o traçado da linha férrea a ser expandida já era conhecido e pôde ser reproduzido. Portanto, foi encontrado o perfil de avaliação de altitude, conforme figura 05.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

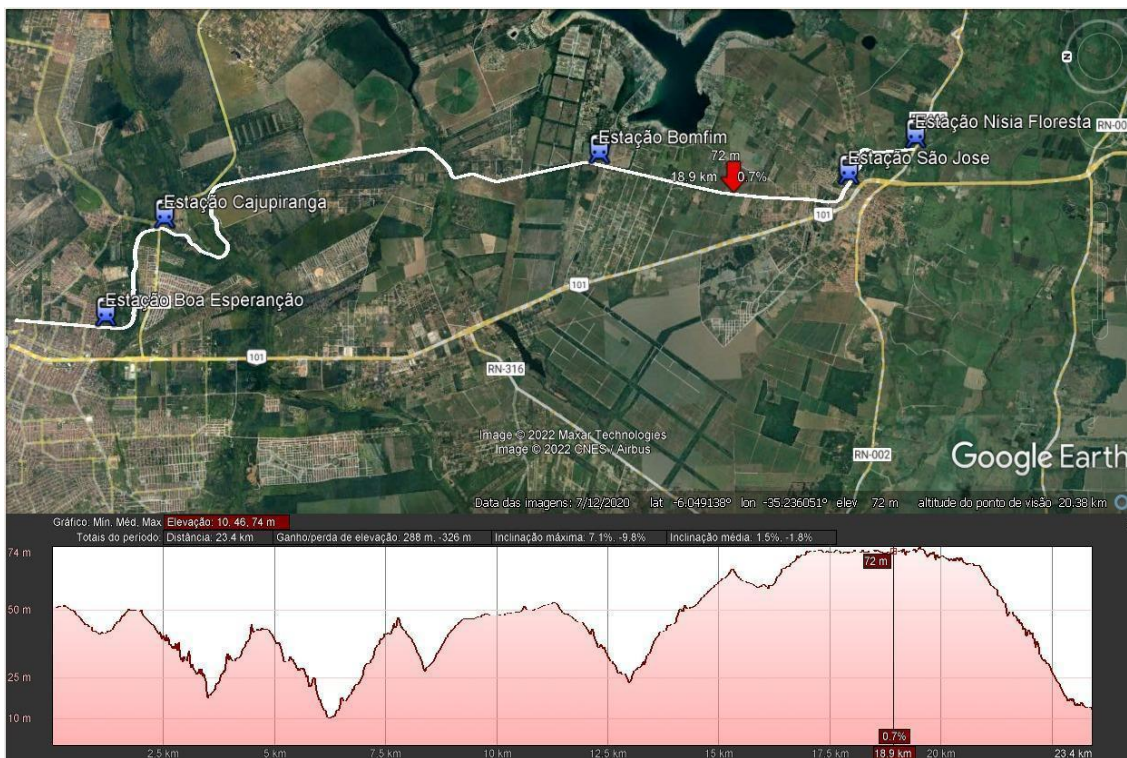


Figura 5 – Perfil de altitude, Fonte: MOTOTRBO SITESURVEY R05 + GOOGLE EARTH

Analisando o perfil de altitude do traçado da via férrea, verificamos que o ponto situado a 18,9 km do projeto de expansão Linha Branca, indicado pela seta vermelha, apresenta a maior elevação do percurso, com 72 metros de altitude. Este local é o mais adequado para garantir a altura necessária para uma visada direta entre a nova torre a ser projetada e a ERB Extremoz existente.

Essa escolha é embasada pelas figuras 06 e 07, que mostram a visada direta entre a nova torre e a ERB Extremoz, bem como as zonas de Fresnel e o obstáculo geográfico entre a nova torre e a ERB Santa Catarina

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

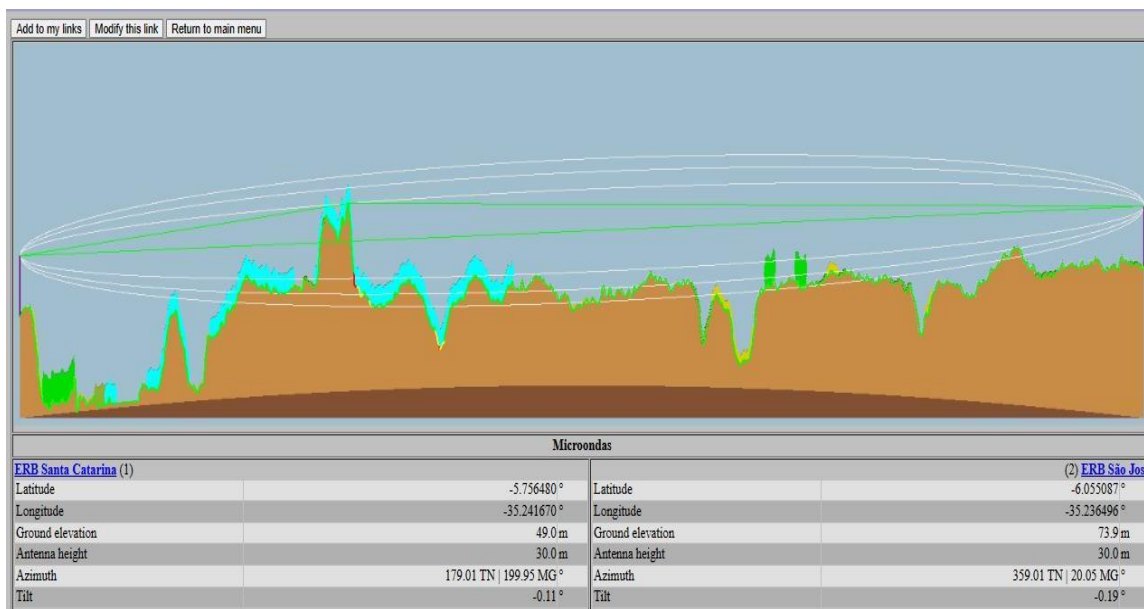


Figura 6: Visada Direta – ERB São José ERB Extremoz. Fonte: Autor.

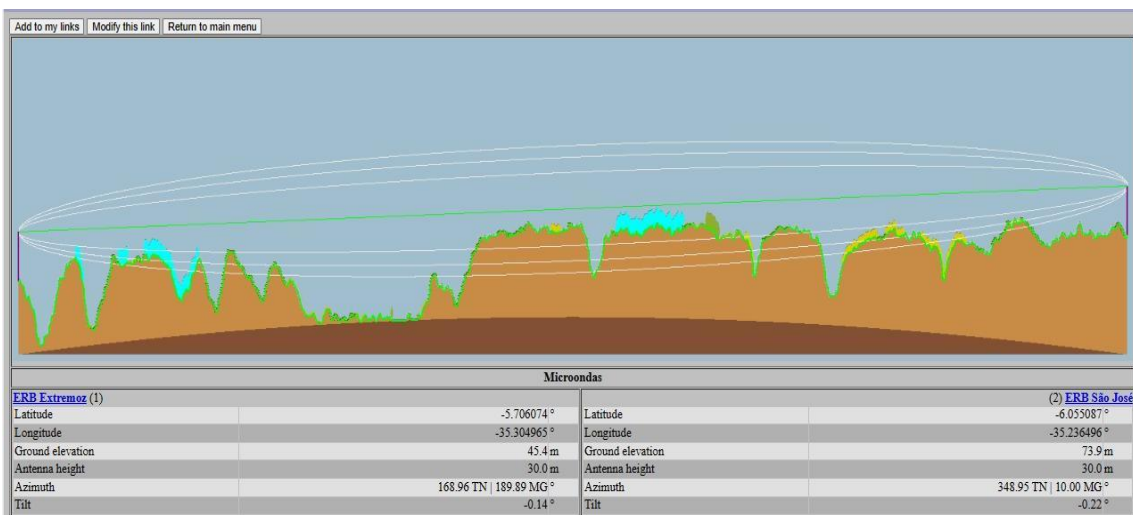


Figura 7 – Visada Direta – ERB São José VER Santa Catarina: Fonte: Autor.

As demais considerações para definição e escolha do local de instalação de uma torre de telecomunicações, tais como: acesso, estabilidade do solo, distância entre as torres e regulamentação local, não foram alvo de detalhamento, por representar



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

variáveis cujo impacto na definição final não possuem representatividade para este projeto específico. O acesso ao local de instalação da torre, a estabilidade do solo do local, bem como a regulamentação local representam as mesmas condições ao longo de todo o projeto, impactando de forma semelhante independentemente do local a ser escolhido.

Vale acrescentar que, a CBTU/STU-NAT, adota como requisito que toda e qualquer infraestrutura de telecomunicações deverá ser implementada fisicamente em áreas de sua propriedade, como: faixas de domínio, pátios de estações ferroviárias, prédios administrativos e outros. Por fim, importante frisar que o meio de comunicação entre ERB's adotado, no caso enlace de micro-ondas, não tem como fator preponderante a distância entre as mesmas visto que não são utilizados meios físicos como cabos ou fios para a transmissão do sinal.

5. RESULTADOS OBTIDOS

5.1. Site ERB SÃO JOSÉ

Diante da definição do local a ser instalado, conforme detalhado na Seção 4, da nova torre de telecomunicações, intitulada ERB - SÃO JOSÉ (por se localizar no município de São José de Mipibu – RN), partiu-se para a predição de área de cobertura, localizada na coordenada geográfica de -6.055046°S / -35.236613°W.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

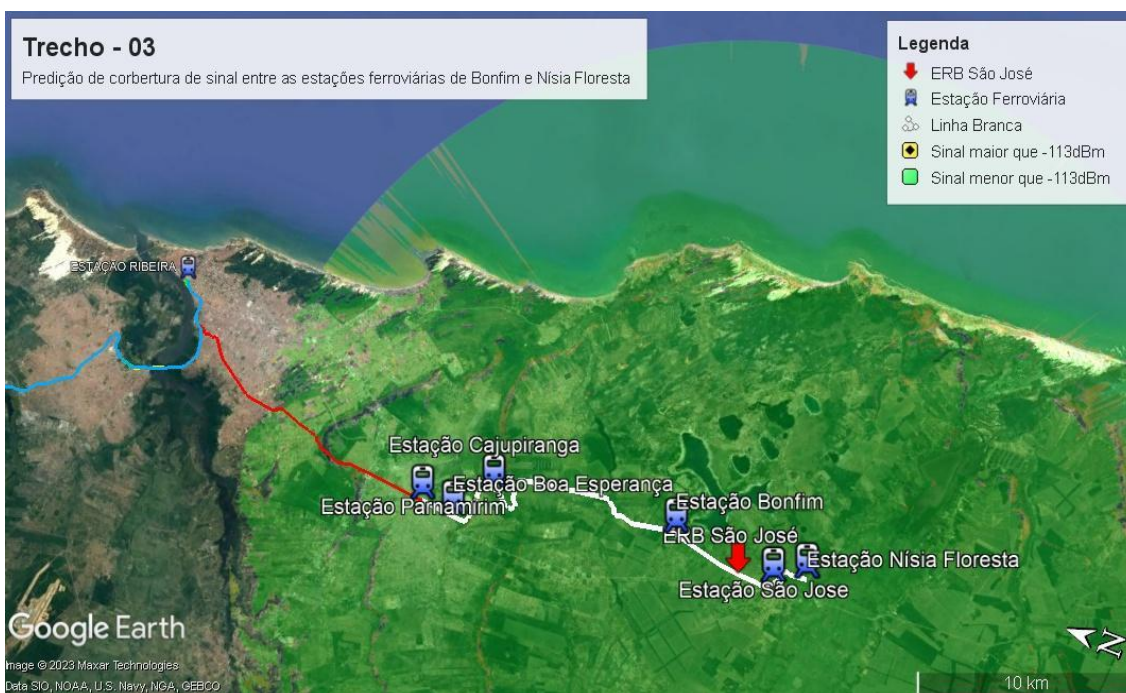


Figura 8 - Cobertura da ERB São José. Fonte: Autor

Avaliando a figura 8, e comparando com as Figuras 5, que representam o ramal ferroviário da linha branca da CBTU/STU-NAT, é possível concluir que a área de cobertura da ERB - SÃO JOSÉ atende a região geográfica alvo, qual seja, o aumento de 24.3 km de linha férrea partindo da estação ferroviária de Parnamirim, passando pela cidade de São José de Mipibu, chegando até a estação ferroviária Nísia Floresta.

Com objetivo de complementar a predição, promovendo uma análise prática, experimental, foi realizado um novo procedimento de *DriveTest* ao longo de todo o ramal ferroviário da Linha Branca.

Similar ao apresentado na Seção 2 a metodologia adotada consiste na aferição da potência do nível de sinal de chegada da repetidora Rx no rádio do veículo ferroviário, por meio de uma comunicação advinda de um rádio instalado no próprio veículo e se deslocando ao longo do percurso.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

5.2. Análises das medições

As Figuras 5.12, 5.13, 5.14 e 5.15 ilustram graficamente o panorama quanto ao recebimento de sinal VHF ao longo do percurso, prevendo a instalação da ERB - SÃO JOSÉ.

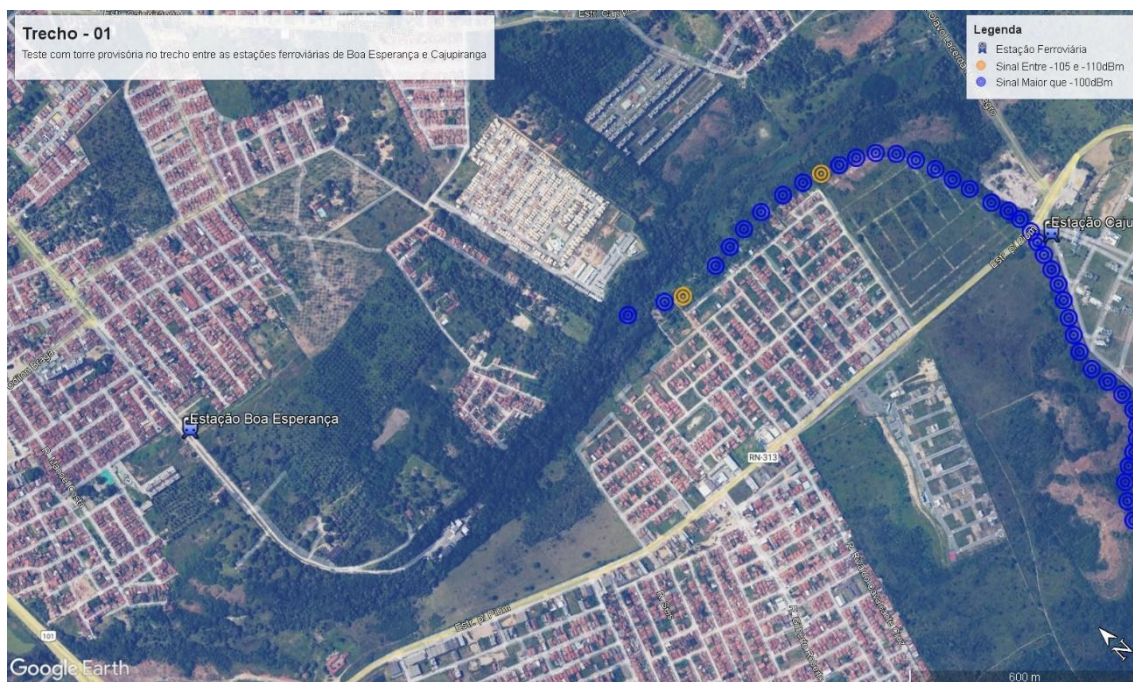


Figura 9 - Níveis de sinais recebidos ao longo do percurso – Trecho 1. Fonte: Autor.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

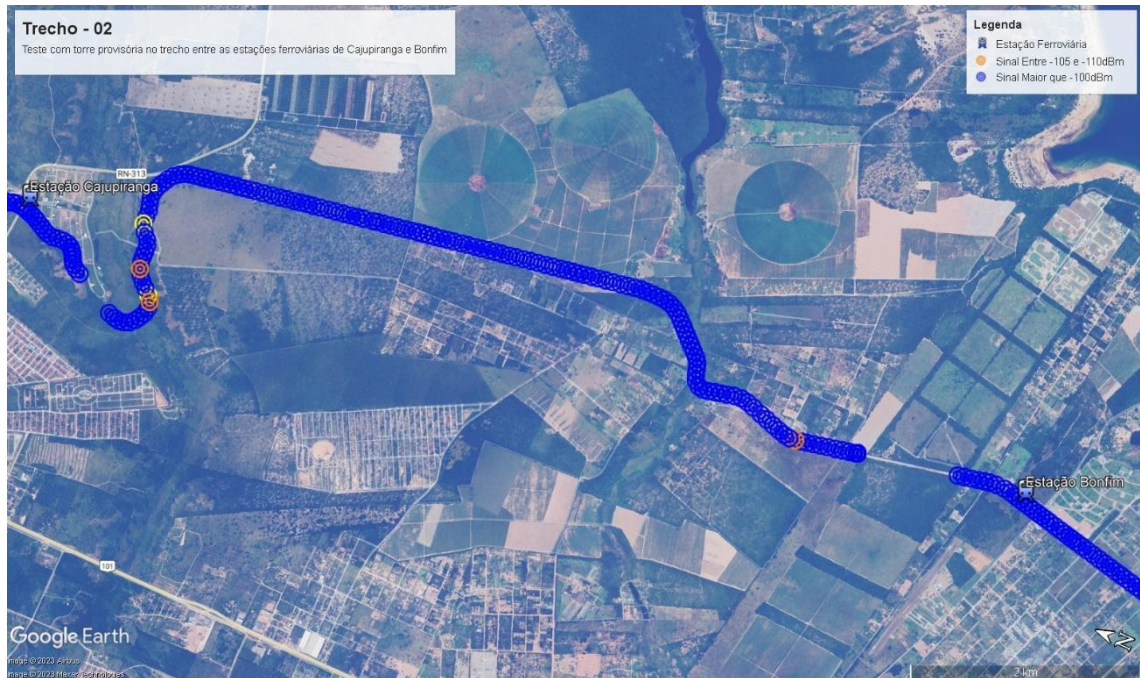


Figura 10 - Níveis de sinais recebidos ao longo do percurso – Trecho 2. Fonte: Autor.

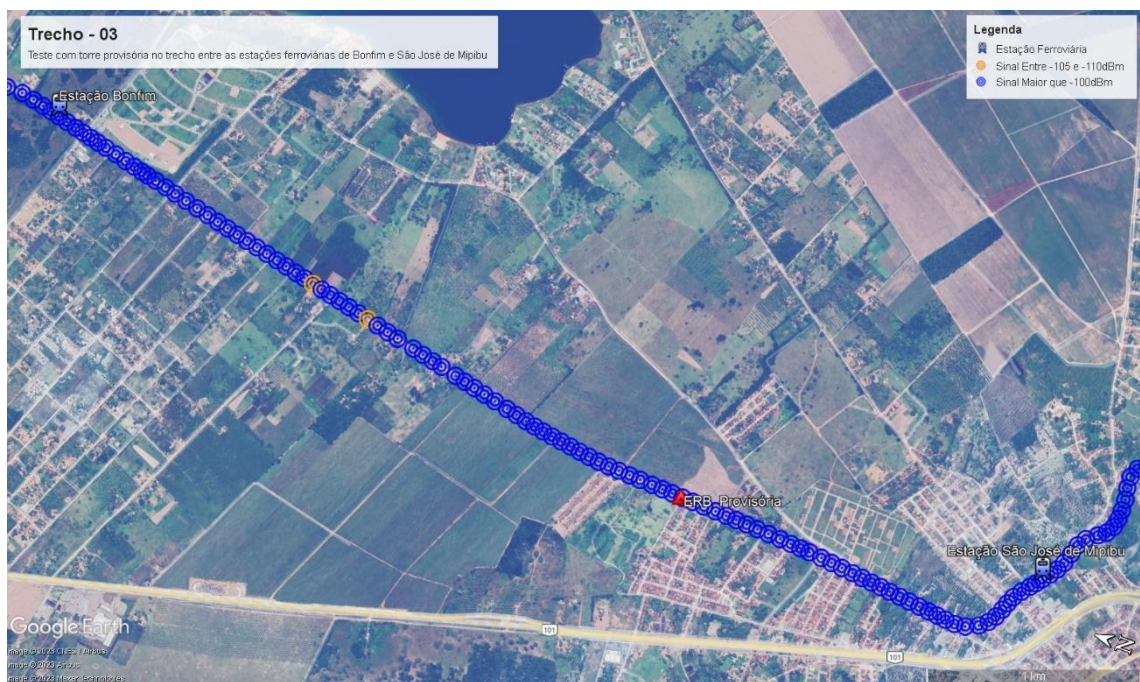


Figura 11 - Níveis de sinais recebidos ao longo do percurso – Trecho 3. Fonte: Autor.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 12 - Níveis de sinais recebidos ao longo do percurso – Trecho 4. Fonte: Autor.

Ao longo do deslocamento do veículo ferroviário na Linha Branca, percurso esse a ser cumprido em aproximadamente 120 minutos, foram realizadas um total de 352 medições, incluindo coletas de dados geográficos e de potência de sinal recebido. A seguir, no Gráfico 2, é apresentada as medições de potência de sinal recebido, conforme as capturas ao longo da via férrea.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

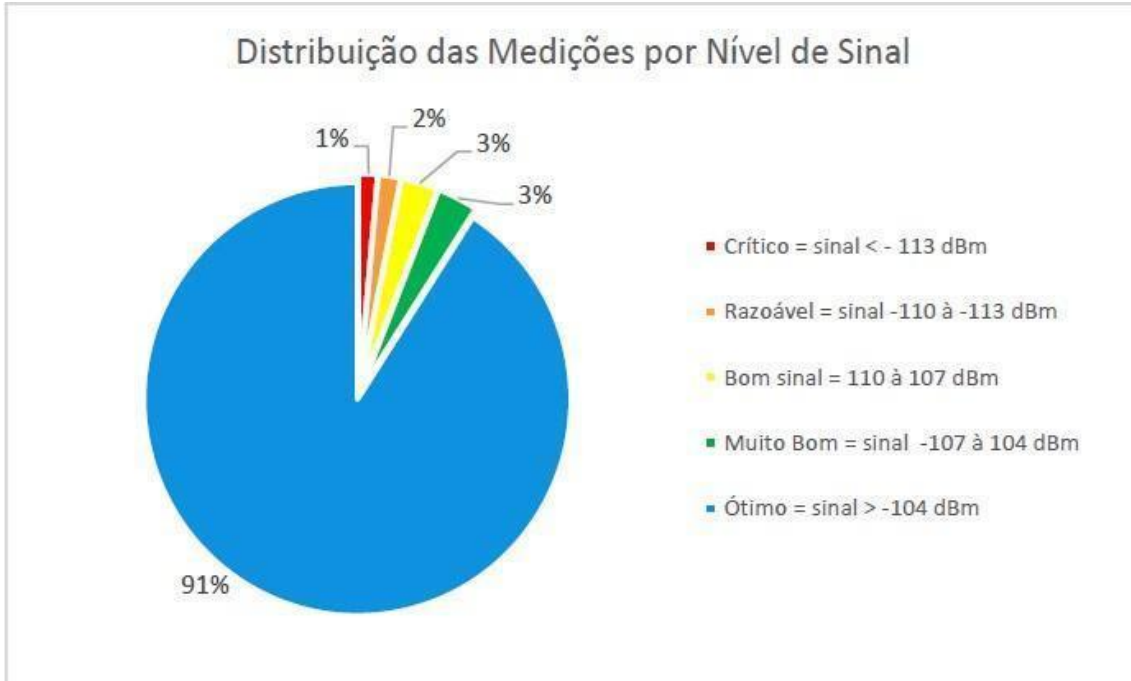


Gráfico 02 – Potencias recebidas. Fonte: Autor

É possível observar que apenas 1% das medições realizadas estão em nível crítico para a realização de uma comunicação efetiva, o que atende às exigências de área de cobertura da especificação técnica do sistema de radiocomunicação já em uso na CBTU/STU-NAT, cujo critério adotado foi: Cobertura de rádio em área aberta para rádios móveis ferroviários devem ser garantidas ao longo de toda a extensão da linha férrea e pátio de estacionamento, em 99% da área;

As regiões que apresentaram as medidas que não tiveram um nível de sinal ótimo, ou seja, acima de -104 dBm, são áreas que apresentam obstruções naturais, como vegetação densa e relevo, que contribuem de sobremaneira para o chamado desvanecimento e atenuação do sinal propagado.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Essa diminuição do nível de potência de sinal já era esperada, uma vez que os obstáculos naturais existentes causaram tal impacto de degradação ao sinal, entretanto, observa-se que os pontos críticos identificados não são sequenciados geograficamente, restringindo assim seu impacto nas operações ferroviárias, ou seja, não foram identificados trechos contínuos de sombra de sinal propagado.

Essa situação garante, ainda, que o veículo ferroviário, uma vez se deslocando no ramal ferroviário, não terá dificuldade de conexão e comunicação junto ao sistema de radiocomunicação já em uso na CBTU/STU-NAT, haja vista que tais medições levaram em consideração uma margem de segurança de 7dBm.

5.3. Site ERB EXTREMOZ, Site ERB SANTA CATARINA e Site ERB SÃO JOSÉ

Por fim, foi realizada a predição da área de cobertura considerando a sobreposição de sinais da ERB - EXTREMOZ, da ERB - SANTA CATARINA e da nova estação rádio base projetada, a ERB - SÃO JOSÉ, foi encontrada a área apresentada na Figura 13.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 13 - Cobertura das ERB's – Extremoz, Santa Catarina e São José

Ao avaliar a área de cobertura sobreposta do sinal de VHF do sistema de radiocomunicação, considerando toda a malha ferroviária da CBTU/STU-NAT—que inclui não apenas a Linha Branca, mas também os ramais ferroviários existentes, conforme mostrado na Figura 13—verifica-se que toda a extensão da malha está dentro da área de cobertura do sistema. Isso garante a disponibilidade e a confiabilidade do sistema de radiocomunicação, permitindo a comunicação eficaz entre o Centro de Controle Operacional (CCO) e os demais dispositivos de rádio conectados.

CONCLUSÕES

Pelo estudo de caso realizado, concluiu-se que por meio de uma série de estudos e testes aplicados ao sistema de radiocomunicação, já em uso na CBTU/STU-NAT, a abrangência do referido sistema não garantiria a disponibilidade e a



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

confiabilidade necessárias para realizar operações ferroviárias de transporte de passageiros no ramal ferroviário a ser expandido, conforme plano de expansão ferroviária da região metropolitana da cidade de Natal-RN, intitulado projeto Linha Branca do governo federal.

A partir disso, fez-se necessário avaliar os pré-requisitos existentes e aqueles a serem implementados, na forma de propostas de melhorias, a fim de expandir a área de cobertura do atual sistema de radiocomunicação. Isso nos levou ao projeto de inclusão de uma nova Estação Rádio Base ao sistema, a fim de garantir tal área de abrangência.

Assim, concluiu-se também que tais melhorias a serem implementadas, como descritas no estudo de caso, proporcionarão a CBTU/STU-NAT a garantia de uma operação ferroviária com níveis de confiabilidade e disponibilidade, trazendo benefícios para toda uma população usuária do modal ferroviário.

Por fim, vislumbra-se como oportunidade para trabalhos futuros a verificação da possibilidade de oferta de Wi-Fi - a partir do sinal de rede de operadoras que comercializam e ofertam sinal de dados - no interior do veículo ferroviário, a fim de melhorar a experiência do passageiro. Há de se avaliar se ao longo do percurso ferroviário existe área de cobertura para este modelo de serviço.

Ainda assim, e semelhante ao discutido anteriormente, avaliar a possibilidade de implementação de sistema de Telemetria perante os dispositivos de rede existentes no interior do veículo ferroviário, como exemplo: CLP's módulos embarcados, PC's, com a própria rede interna da CBTU/STU-NAT com objetivo de proporcionar ao Centro de



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

Controle Operacional um sistema de monitoramento em tempo real dos veículos ferroviários e seus principais parâmetros, bem como condições da via férrea e desempenho dos componentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CRUZ, Maria Aparecida Silva et al. **Espectro Sonoro Explorado com Sistema de Funções Iterativas**. NICS Reports, n. 13, 2015.

DE SOUZA, Gilcélia Regiane; DE PINHO TAVARES, Frederico Ferreira. **A Matemática e as Ondas de Rádio AM**. Revista de Matemática, v. 2, 2019.

KINOUCI, Osame. **A analogia entre ondas eletromagnéticas e elastodinâmica linear**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 44, 2022.

LORENZZETTI, João A. **Princípios físicos de sensoriamento remoto**. Editora Blucher, 2015.

LOURENÇO, Alexandre José Paulo. **Radiopropagação em Vegetação na Presença de Cortinas de Fogo**. 2020. Tese de Doutorado. Instituto Politecnico de Leiria (Portugal).

MARTINS, Maria João; NEVES, Isabel Ventim. **Propagação e Radiação de Ondas Eletromagnéticas**. Lisboa: LIDEL, 2015.

PASSOS, Marly Nascimento Salles; DE OLIVEIRA, Alexandre Maniçoba; GOMES, Anna Karina Fontes. **APLICAÇÕES DAS EQUAÇÕES DE MAXWELL**. Revista Acadêmica - Ensino De Ciências E Tecnologias IFSP – Campus Cubatão Volume 4 - Número 4 – Fevereiro/Julho De 2019.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

ROCHOL, Juergen. **Sistemas de comunicação sem fio: conceitos e aplicações**. Bookman Editora, 2018.

RODRIGUES, Clóves Gonçalves. **Ondas, acústica, psicoacústica e poluição sonora**. Goiânia: do Autor, 2020.

SANTOS, Gabriel Rodrigues Faria. **Avaliação da perda de penetração em diversos materiais na faixa de 14 GHz**. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia de Telecomunicações. Universidade Federal Fluminense. Niterói. 2019.

SILVA, Higo Thaian Pereira da et al. **Planejamento celular a partir do mapeamento de parâmetros do canal com multipercurso**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Engenharia Elétrica e Informática, 2019.

SIQUEIRA, Felipe Coelho. **As equações de maxwell e as ondas eletromagnéticas**. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 9, p. 93571-93589, 2021.

SOUZA FILHO, Agostinho Linhares de. **Contribuições ao estudo da exposição humana a campos eletromagnéticos na faixa de radiofrequências**. 2015. xv, 87 f., il. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) — Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

TODESCATTO, Tiago. **Física Radiológica**. Clube de Autores, 2019.

VARGAS, Carlos Eduardo Orihuela. **Sondagem do Canal de Propagação Rádio Móvel em Onda Milimétrica**. 2015. Tese de Doutorado. PUC–Rio



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

BOYLESTAD, R. L., & NASHELSKY, L. **Eletrônica: Teoria e Aplicações**. 2013. Pearson Education

TOOLEY, M. **Eletrônica Básica**. 2009. Bookman.

SKLAR, B. **Princípios de Comunicações: Sistemas Analógicos e Digitais**. 2001. Bookman.

TOMASI, W. **Sistemas de Comunicações Eletrônicas**. 2001. Pearson Education.

FRENZEL, L. **Princípios de Comunicações Eletrônicas**. 2016. Cengage Learning.

BRAGA, N. C. **Sistemas de Comunicações Eletrônicas: Teoria e Prática**. 2007. Érica.

BRASIL, L. H. D. T. **Comunicações Eletrônicas**. 1996. Editora Érica.

POZAR, D. M. **Microwave Engineering**. 2011. John Wiley & Sons.

BALANIS, C. A. **Antenna Theory: Analysis and Design**. 2012. John Wiley & Sons.

ANATEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 674/2017**. Regulamento sobre canalização e condições de uso de radiofrequência na faixa de 148 a 174 MHz. De 13 de fevereiro de 2017.

ANATEL. **LICENÇA PARA FUNCIONAMENTO DE ESTAÇÃO Nº 05/2018 - RN**. De 23 de fevereiro de 2019.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS