

SUMÁRIO EXECUTIVO

Projeto Exploração do TV White Spaces (TVWS) para Acesso à Internet no Brasil

Foco na Base de Dados Georreferenciada

1. Introdução

O Brasil enfrenta um grande desafio em relação à inclusão digital, com uma parcela significativa da população ainda sem acesso à Internet, especialmente em áreas rurais e remotas. Essa falta de conectividade limita o acesso a informações, educação, serviços públicos e oportunidades de desenvolvimento econômico.

O projeto "Exploração do TV White Spaces (TVWS) para Acesso à Internet no Brasil" tem sido uma iniciativa de pesquisa e desenvolvimento (P&D), liderada pelo NIC.br, desenvolvida em fases nos últimos três anos (2022-2024). O projeto busca uma solução inovadora para expandir o acesso à Internet em áreas rurais, remotas e de difícil acesso no Brasil, e tem explorado o uso da tecnologia TVWS, que permite o aproveitamento de faixas de frequência não utilizadas pelas emissoras de televisão, para fornecer conectividade sem fio.

O projeto foi motivado pela combinação de três fatores principais:

- A necessidade de conectar a grande parcela da população brasileira que ainda não tem acesso à Internet, especialmente em áreas rurais e remotas.
- A disponibilidade de espectro ocioso na faixa de TV, resultante da migração da TV analógica para a TV digital. Esse espectro, conhecido como TVWS, pode ser utilizado em caráter secundário, sem causar interferência aos serviços de radiodifusão.
- O surgimento de novas técnicas de comunicação e gestão do espectro que podem melhor explorar o TVWS, tornando-o uma alternativa viável e eficiente para a expansão da Internet.

A tecnologia TVWS surge, portanto, como uma alternativa promissora para expandir a conectividade em áreas rurais e remotas, aproveitando o espectro ocioso da faixa de TV. No entanto, a utilização do TVWS requer um sistema de gestão do espectro eficiente e confiável, que garanta a proteção dos usuários primários e permita o uso dinâmico e compartilhado do espectro.

Um dos objetivos do projeto foi desenvolver uma base de dados georreferenciada, descentralizada e que utiliza tecnologia blockchain para gerenciar o uso do espectro TVWS de forma dinâmica e segura. Essa base de dados permite a verificação da disponibilidade de espectro em tempo real pelos dispositivos TVWS (do inglês, *White Space Devices* - WSD), garantindo a proteção dos usuários primários do espectro (emissoras de televisão) contra interferências.

2. Metodologia

A metodologia do projeto incluiu as seguintes etapas:

- **Revisão da literatura e análise de modelos regulatórios internacionais:** Foi realizado um estudo aprofundado das experiências de outros países na regulamentação e utilização do TVWS, como Estados Unidos, Reino Unido e Quênia. Essa análise

permitiu identificar as melhores práticas e os desafios a serem superados na implementação do TVWS no Brasil.

- **Desenvolvimento da base de dados georreferenciada:** Foi criada uma base de dados que armazena informações sobre a localização e os parâmetros de transmissão das emissoras de televisão, bem como dados geográficos e ambientais relevantes para a propagação das ondas de rádio. Esta informação é importada das bases da agência reguladora, a Anatel.
- **Implementação de modelos de propagação:** Foram implementados modelos de propagação de ondas de rádio que permitem estimar a cobertura e a força do sinal das emissoras de televisão, levando em consideração as características do terreno, a vegetação e outros fatores ambientais. E assim, atentar para a disponibilidade ou não de certos canais serem usados em carácter secundário.
- **Desenvolvimento da API:** Foi desenvolvida uma API que permite a comunicação entre os dispositivos TVWS e a base de dados, seguindo o protocolo especificado na RFC 7545 (IETF). O uso desse protocolo (chamado PAWS) permite a compatibilidade da base de dados com dispositivos TVWS de diversos fabricantes. Essa API permite a troca de mensagens sobre a disponibilidade de espectro em tempo real e a alocação dinâmica de canais aos dispositivos TVWS.
- **Implementação da tecnologia blockchain:** Foi utilizada a tecnologia blockchain para garantir a segurança, a transparência e a auditabilidade das transações de alocação de espectro. Em particular adotou-se a plataforma Solana como solução técnica específica de blockchain. A tecnologia blockchain permite que todos os participantes da rede (emissoras de televisão, provedores de Internet, reguladores) tenham acesso a um registro imutável das transações, o que aumenta a confiança e a segurança do sistema. O uso do blockchain permite ainda um desenvolvimento descentralizado, o que para as dimensões do Brasil se torna bastante adequado.
- **Inovação:** Na API, que mantém a compatibilidade com o RFC 7545, foram adicionados novos parâmetros (opcionais) com vista a melhorar os cálculos na propagação; e melhorar a autenticação e gestão dos usuários pela criação de sessões.
- **Testes e validação:** A solução desenvolvida foi testada e validada em diversos cenários, simulando diferentes condições de propagação e níveis de interferência. Os testes foram realizados em laboratório e em campo, utilizando equipamentos de rádio reais. Duas consultorias internacionais com experiência técnica em TVWS foram contratadas para criticar e validar o protocolo e os modelos de propagação.

3. Soluções Técnicas Adotadas

A arquitetura do sistema desenvolvido no projeto é composta por quatro módulos principais, conforme ilustrado pela Figura 1 e detalhado abaixo:

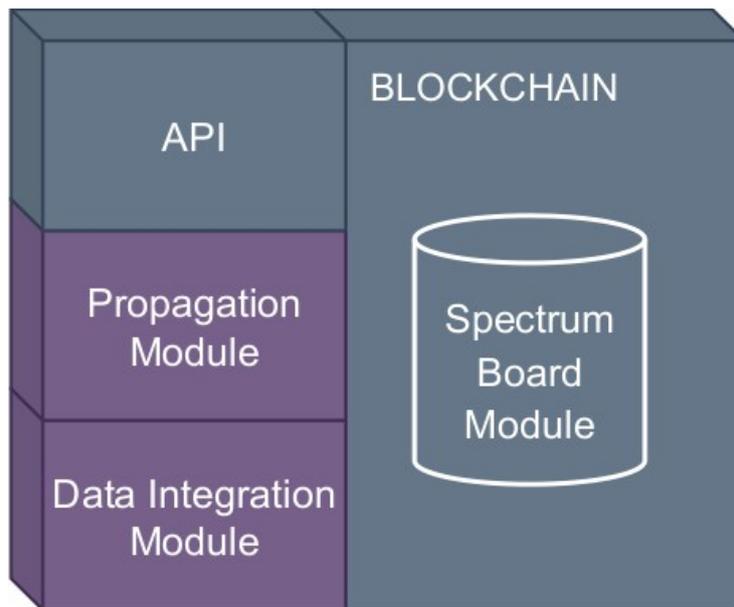


Figura 1: Diferentes módulos que fazem parte da solução proposta.

- **Módulo de Integração de Dados (DIM):** Responsável por coletar, processar e integrar os dados de diversas fontes, como aqueles advindos do sistema Mosaico da Anatel (sistema de cadastro das emissoras de televisão), dados geográficos e ambientais. O DIM garante a qualidade e a consistência dos dados utilizados pelo sistema.
- **Módulo de Propagação (PM):** Responsável por implementar os modelos de propagação de ondas de rádio e estimar a cobertura e a força do sinal das emissoras de televisão. O PM leva em consideração as características do terreno, a vegetação e outros fatores ambientais para calcular a probabilidade de interferência em diferentes locais. Dois dos modelos utilizados são o *Irregular Terrain Model (ITM)*, nas versões ponto-área e ponto-a-ponto, e o ITU-R P.1546.
- **Módulo de Gestão do Espectro (SBM):** Responsável por gerenciar a alocação do espectro TVWS, garantindo a proteção dos usuários primários e permitindo o uso dinâmico e compartilhado do espectro. O SBM utiliza a tecnologia blockchain para registrar as transações de alocação de espectro, buscando garantir a segurança, a transparência e a auditabilidade das transações de alocação de espectro.
- **Módulo API:** Responsável por fornecer uma interface de comunicação padronizada entre os dispositivos TVWS e o sistema. A API segue o protocolo PAWS especificado na RFC 7545 (IETF), o que garante a compatibilidade com dispositivos transceptores de rádio nacionais e internacionais fabricados por diferentes fabricantes.

O aprofundamento técnico sobre as funcionalidades e soluções adotadas em cada módulo do sistema geraram relatórios técnicos do projeto disponíveis sob demanda junto ao NIC.br.

4. Resultados e Validação

A solução desenvolvida foi testada e validada em diversos cenários, simulando diferentes condições de propagação e níveis de interferência. Os testes foram realizados em laboratório e em campo, utilizando equipamentos de rádio reais. Além disso foram contratadas duas

consultorias internacionais (Reino Unido e Finlândia) independentes, com experiência técnica em TVWS para avaliar, criticar e validar o protocolo e os modelos de propagação.



Figura 2: Equipamento usado e equipe da UFC durante as medições de campo.

```

10:08:26 04-01-2024: PAWS_schema.py:34:load_schemas() = Loading PAWS schemas
10:08:26 04-01-2024: paws_tester.py:38:<module>() = Skip JSON-RPC
=====
== TVWS PAWS test
== Test timestamp: 10:08:26 04-01-2024 (H:M:S d-m-Y)
== Target geolocation database: Brazil
== Target API URL: http://200.160.6.8/api/
=====
=====
== Init Request test cases ==
=====
=====
Test case: test_init_loop_parameters_1
Target path: ['params', 'type']
Target value: Deleted
Test case 'test_init_loop_parameters_1' PASSED
=====

```

(a) Mensagem INIT_REQ do PAWS.

```

10:11:16 04-01-2024: PAWS_schema.py:34:load_schemas() = Loading PAWS schemas
10:11:16 04-01-2024: paws_tester.py:38:<module>() = Skip JSON-RPC
=====
== TVWS PAWS test
== Test timestamp: 10:11:16 04-01-2024 (H:M:S d-m-Y)
== Target geolocation database: Brazil
== Target API URL: http://200.160.6.8/api/
=====
=====
== AvailSpectrum Request test cases ==
=====
=====
Test case: test_avail_spectrum_loop_parameters_1
Target path: ['params', 'type']
Target value: Deleted
Test case 'test_avail_spectrum_loop_parameters_1' PASSED
=====

```

(b) Mensagem AVAIL_SPECTRUM_REQ do PAWS.

Figura 3: Exemplo dos resultados da suíte de testes efetuada por uma das consultadoras para duas mensagens diferentes, onde foram validados um total de 372 testes.

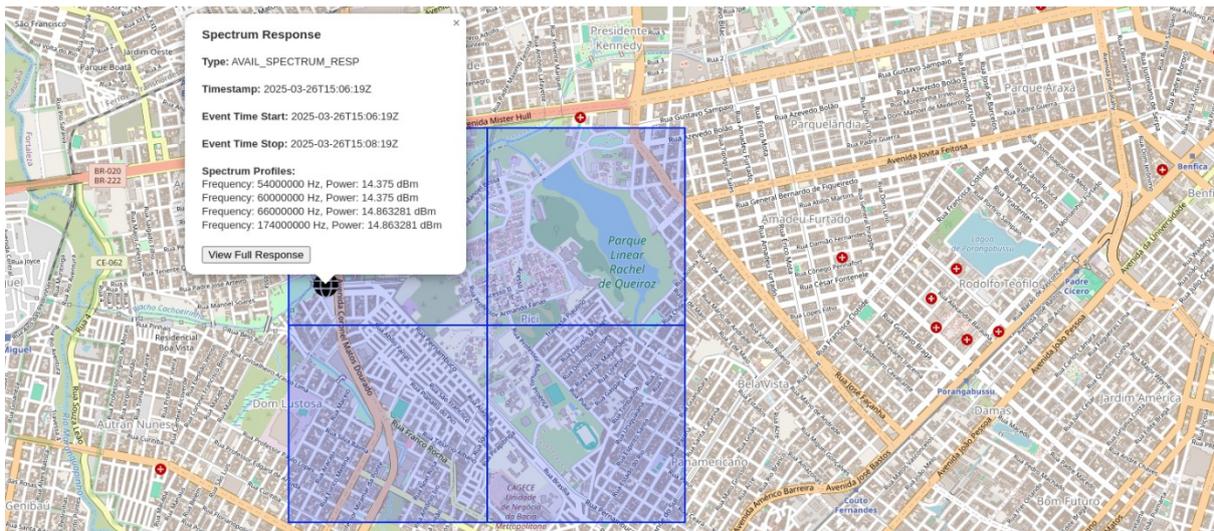


Figura 4: Exemplo de uma aplicação de *debug* com o mapa da região de Fortaleza, onde são apresentados os canais disponíveis, em resposta à mensagem AVAIL_SPECTRUM_REQ.

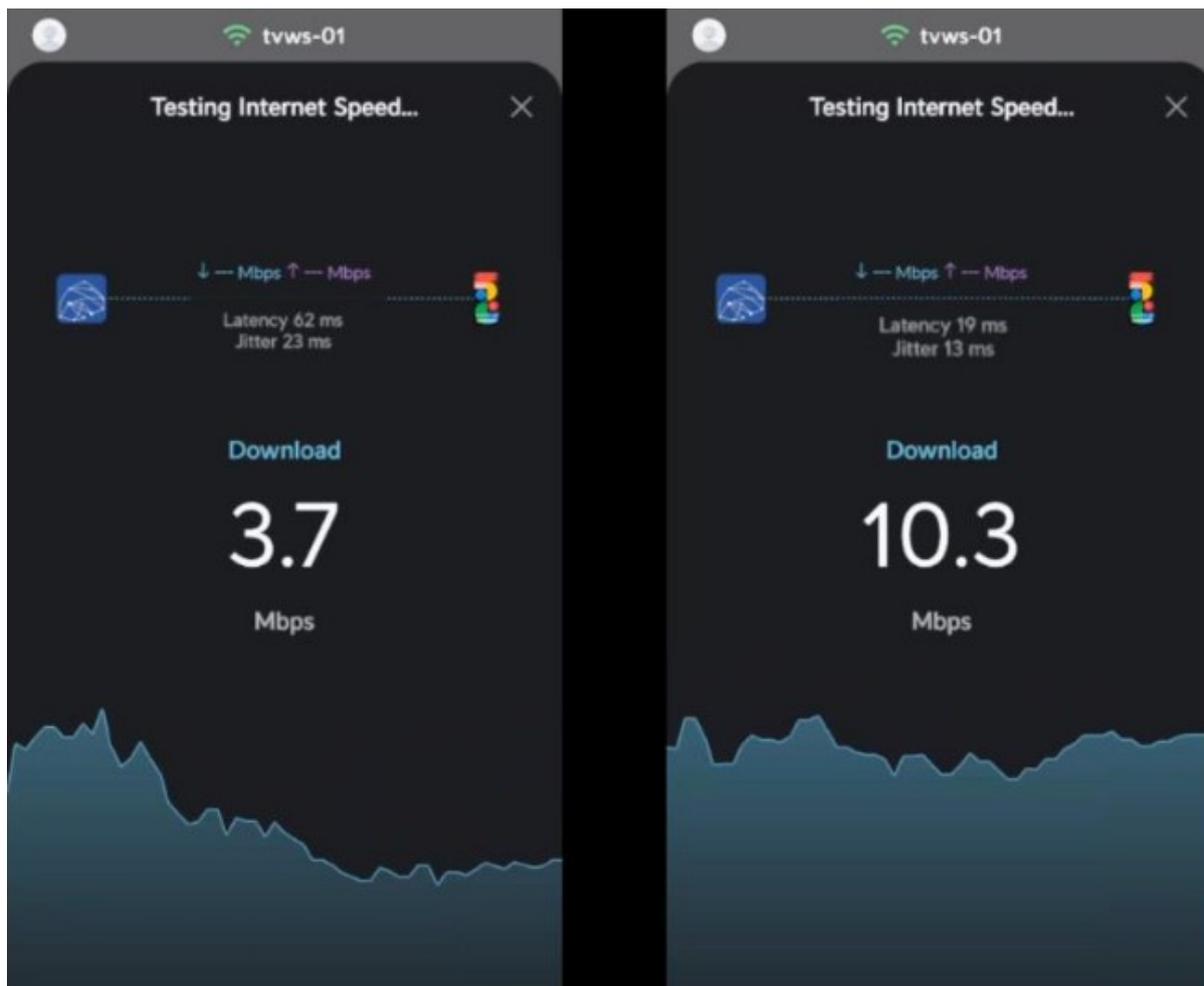


Figura 5: Teste realizado mostrando um claro aumento de vazão da rede tradicional (figura da esquerda) para quando existe gestão de interferência na rede secundária (figura da direita).

Os resultados dos testes demonstraram que a solução é capaz de:

- **Proteger os usuários primários do espectro:** O sistema garante que os dispositivos TVWS não causam interferência ao sinal da televisão, respeitando as restrições regulatórias e as políticas de alocação de espectro.
- **Permitir o uso dinâmico e compartilhado do espectro:** O sistema permite que os dispositivos TVWS utilizem o espectro de forma dinâmica e compartilhada, maximizando a eficiência do uso do espectro e aumentando a capacidade geral da rede.
- **Garantir a segurança e a transparência das transações:** A tecnologia blockchain garante a segurança, a transparência e a auditabilidade das transações de alocação de espectro, aumentando a confiança e a segurança do sistema.
- **Escalabilidade:** A plataforma Solana permite que o sistema seja capaz de processar muitas transações em tempo real (na ordem dos poucos segundos), tornando-o adequado para aplicações que exigem alta escalabilidade. Isto permite que a solução proposta esteja pronta para suportar um mercado em expansão de conectividade, como é próprio de um país das dimensões continentais do Brasil.

Os relatórios técnicos que detalham os resultados de testes e validações podem ser obtidos junto ao NIC.br (disponíveis sob demanda).

5. Conclusões

O projeto "Exploração do TV White Spaces (TVWS) para Acesso à Internet no Brasil" tem demonstrado a viabilidade técnica da utilização da tecnologia TVWS para expandir o acesso à Internet em áreas rurais, remotas e de difícil acesso no Brasil. A solução desenvolvida, no que tange o sistema de gestão do espectro, está baseada em tecnologias de ponta como blockchain e georreferenciamento, e oferece uma alternativa eficiente para a gestão do espectro TVWS, garantindo a proteção dos usuários primários e permitindo o uso dinâmico e compartilhado do espectro.

Cabe observar que em um pacote de trabalho paralelo, um dos parceiros do projeto (INATEL) demonstrou já haver em diversos países um mercado de TVWS ativo, constituído de fornecedores de equipamentos de rádio-comunicação e de agentes administradores autorizados de bases de dados georreferenciadas, demonstrando assim a existência de experiências internacionais bem-sucedidas que permitem esperar igual sucesso a partir da implantação da tecnologia no Brasil.

Ao final das atividades descritas neste relatório, em seu status atual, a base de dados georreferenciada desenvolvida pelo NIC.br para TVWS apresenta as seguintes funcionalidades:

- Base de dados georreferenciada assente em tecnologia blockchain para melhor gestão do espectro ocioso, cujo acesso (API) segue o padrão IETF RFC 7545.
- Conexão com o banco de dados Mosaico da Anatel e acesso ao contorno protegido legal das emissoras de TV.
- Uso de predição de cobertura de sinal e proteção contra interferências utilizando modelos de propagação consagrados na literatura técnica e em organismos de padronização, incluindo dados de relevo do terreno.
- A API recebe dados adicionais (perfil de antena e forma de onda) a fim de limitar a possível interferência dos usuários secundários nos receptores de TV (usuários primários).
- Coordenação de interferência também entre usuários secundários com o mecanismo de notificação de uso de canal em modo secundário para que demais usuários evitem reuso de frequência na mesma região.
- Gestão dos usuários no acesso à base de dados através da criação de sessões.

A implementação da tecnologia TVWS no Brasil tem o potencial de gerar um impacto significativo em diversas áreas, promovendo o desenvolvimento econômico, a inovação tecnológica e a inclusão digital. Porém, é fundamental que o governo brasileiro, a Anatel, os provedores de Internet e a sociedade civil trabalhem juntos para superar os desafios regulatórios, técnicos e econômicos e tornar essa tecnologia uma realidade no país.