

# **Engenharia Regulatória e Viabilidade Técnica em Radiodifusão: Análise Aprofundada da Documentação, Proteção de Aeródromos e Exposição Eletromagnética**

## **1. Introdução e Contextualização do Cenário Regulatório Brasileiro**

O ecossistema de radiodifusão no Brasil opera sob uma complexa intersecção de competências administrativas e técnicas, exigindo dos engenheiros e gestores uma compreensão holística que transcende a simples transmissão de sinais. A viabilidade de uma estação de Rádio (FM/AM) ou Televisão (TVD) não é determinada apenas pela disponibilidade espectral, mas por um tripé regulatório que envolve a outorga do serviço, a segurança operacional aeronáutica e a proteção da saúde pública contra radiações não ionizantes. Este relatório técnico destina-se a dissecar, com profundidade analítica, os requisitos documentais e os estudos de engenharia necessários para a apresentação de pleitos junto ao Ministério das Comunicações (MCom), à Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) e ao Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA).

A análise concentra-se na documentação crítica exigida para comprovar a viabilidade técnica, com ênfase especial nas Zonas de Proteção de Aeródromos (PBZPA) e na avaliação da exposição humana a campos eletromagnéticos (CEMRF), conforme as mais recentes atualizações normativas, incluindo o Ato nº 17.865/2023 e as diretrizes do SysAGA. Além disso, examina-se a metodologia de propagação "Deygout-Assis", mandatória no Brasil para cálculos de interferência, contextualizando sua aplicação na demonstração de convivência espectral.

### **1.1 A Estrutura de Competências e o Fluxo de Aprovação**

O processo de licenciamento no Brasil é caracterizado por um fluxo não linear, onde a aprovação em uma instância depende, frequentemente, da validação em outra. O Ministério das Comunicações atua como o poder concedente, responsável pelas políticas públicas e pela outorga legal do serviço. No entanto, a materialidade técnica dessa outorga é auditada pela Anatel, que verifica a conformidade com os Planos Básicos de Distribuição de Canais (PBTV, PBRTV, PBFM).

Paralelamente, e muitas vezes de forma precursora, o Comando da Aeronáutica (COMAER), através do DECEA, detém a autoridade para vetar qualquer infraestrutura vertical que ameace a segurança da navegação aérea. A documentação técnica, portanto, não é meramente burocrática; ela constitui a prova cabal de que a estação proposta harmoniza o interesse público da comunicação com os imperativos de segurança da aviação e saúde humana.

## 2. Viabilidade em Relação à Área de Proteção de Aeródromos (OPEA)

A análise de viabilidade de uma estação de radiodifusão começa, invariavelmente, pela sua localização geográfica e pelas restrições de altura impostas pelo ambiente aeronáutico. A infraestrutura de suporte (torres e mastros) é classificada como Objeto Projetado no Espaço Aéreo (OPEA), sujeitando-se a um rigoroso escrutínio técnico.

### 2.1 Fundamentação Normativa e o Sistema SysAGA

A regulação de OPEA no Brasil baseia-se na Portaria nº 957/GC3, de 2015, e nas Instruções do Comando da Aeronáutica (ICA), especificamente a ICA 11-3, que trata dos processos de análise, e a ICA 63-19, que estabelece os critérios técnicos. A evolução mais significativa neste domínio foi a digitalização completa do processo através do sistema **SysAGA** (Sistema de Gerenciamento de Processos da Área AGA). O SysAGA centralizou a submissão de projetos, eliminando o trâmite físico e impondo um padrão de dados geoespaciais de alta precisão. A documentação submetida ao SysAGA deve comprovar que o objeto proposto não viola as Superfícies Limitadoras de Obstáculos (OLS) dos aeródromos circundantes, ou, caso viole, que não representa risco à segurança ou regularidade das operações aéreas. A análise técnica não se limita apenas à geometria física, mas abrange também o potencial de interferência eletromagnética nos auxílios à navegação (como VOR, ILS e Radares), exigindo uma coordenação estreita entre os parâmetros de transmissão da Anatel e as salvaguardas do DECEA.

### 2.2 Documentação Técnica Exigida no SysAGA

A instrução processual no SysAGA demanda um conjunto documental que deve ser elaborado por profissionais habilitados, com Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) específica. A falha na apresentação ou a inconsistência nos dados geodésicos resulta no indeferimento sumário ou na emissão de exigências que atrasam o cronograma de implantação.

#### 2.2.1 Requerimento e Ficha Informativa

O processo inicia-se com o preenchimento da Ficha Informativa no portal, onde são declaradas as coordenadas geográficas (Latitude e Longitude) e as altitudes. Um ponto crítico de atenção é o referencial vertical. O DECEA exige a utilização da **Altitude Ortométrica** (referenciada ao Nível Médio do Mar - MSL, Datum de Imbituba/Marégrafo), e não a Altitude Elipsoidal (fornecida nativamente por receptores GPS). A confusão entre estes referenciais pode introduzir erros métricos significativos, levando à aprovação de objetos que, na realidade, penetram superfícies de proteção, ou à rejeição indevida de objetos viáveis.

#### 2.2.2 Levantamento Topográfico Planialtimétrico

Este é o documento central da análise de OPEA. Deve ser realizado por profissional de agrimensura ou engenharia cartográfica e conter:

- **Georreferenciamento:** Obrigatoriedade do uso do sistema geodésico de referência oficial do Brasil, o **SIRGAS2000** (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas)

2000).

- **Elementos da Planta:** A planta deve indicar a posição exata da base da torre, as cotas do terreno natural, e a altura total da estrutura, incluindo todos os apêndices (para-raios, balizamento noturno, antenas).
- **Vínculo com Aeródromos:** Se o objeto estiver dentro das áreas de proteção ou num raio de 20 km de um aeródromo, a planta deve indicar a direção e distância para o Ponto de Referência do Aeródromo (ARP) ou para as cabeceiras das pistas.

### 2.2.3 Peças Gráficas e Arquivos Digitais

Além das plantas em formato PDF assinadas digitalmente, o SysAGA frequentemente requer o upload de arquivos vetoriais (formato KMZ do Google Earth ou arquivos CAD) para facilitar a pré-análise automatizada do sistema. Estes arquivos devem estar em perfeita concordância com as coordenadas declaradas na Ficha Informativa. A discrepância de segundos na latitude ou longitude entre o arquivo digital e o levantamento topográfico é causa frequente de indeferimento.

## 2.3 Critérios de Análise: Superfícies Limitadoras e o Princípio da Sombra

A viabilidade técnica perante o DECEA depende da posição do objeto em relação às superfícies tridimensionais imaginárias definidas nos Planos de Zona de Proteção (PBZPA).

### 2.3.1 Superfícies de Proteção Críticas

- **Superfície de Transição:** Rampas laterais que protegem as aproximações baixas. Estruturas aqui são raramente permitidas.
- **Superfície Horizontal Interna:** Um plano ovalado situado a 45 metros acima da elevação do aeródromo. Em áreas urbanas densas, torres de radiodifusão frequentemente ultrapassam essa altura, exigindo análises especiais.
- **Superfície Cônica:** Estende-se da borda da horizontal interna com uma inclinação ascendente (geralmente 5%).
- **Superfícies de Aproximação e Decolagem:** Corredores alinhados com a pista. A penetração nestas áreas é crítica e geralmente proibitiva, a menos que se aplique o princípio da sombra.

### 2.3.2 O Princípio da Sombra (Shielding)

Uma estratégia essencial para a viabilidade de estações em centros urbanos é o uso do Princípio da Sombra. Este conceito técnico postula que um novo obstáculo não compromete a segurança se estiver "escondido" atrás de um obstáculo existente e permanente (como um morro ou um edifício consolidado) em relação à trajetória da aeronave. Para documentar a viabilidade via sombreamento, o engenheiro deve apresentar um estudo específico demonstrando que o topo da nova antena não ultrapassa o plano de sombra projetado pelo obstáculo existente (com uma margem de segurança descendente, tipicamente de 10% a partir do topo do obstáculo escudo). A documentação deve incluir o levantamento topográfico tanto do objeto proposto quanto do obstáculo escudo.

### 3. Níveis de Exposição à Radiação Não Ionizante (RNI)

Após assegurar a viabilidade física da estrutura junto ao DECEA, o foco da documentação para a Anatel volta-se para a segurança biofísica. A comprovação de que a estação opera dentro dos limites de exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos (CEMRF) é condicionante para o licenciamento e para a entrada em operação.

#### 3.1 Marco Regulatório Atualizado: O Ato nº 17.865/2023

A regulação brasileira sobre RNI sofreu uma atualização paradigmática com a publicação do **Ato nº 17.865**, de 30 de dezembro de 2023 (vigência a partir de março de 2024). Este ato revogou o anterior Ato nº 458/2019 e alinhou o Brasil às diretrizes de 2020 da Comissão Internacional de Proteção Contra Radiação Não Ionizante (ICNIRP).

A nova norma refina os limites de exposição e os procedimentos de avaliação, introduzindo critérios mais detalhados para a média espacial e temporal dos campos, especialmente relevantes para tecnologias de transmissão digital e modulações complexas. A documentação apresentada à Anatel deve agora refletir explicitamente os cálculos baseados nestas novas tabelas e fórmulas.

#### 3.2 O Relatório de Conformidade

O documento central para a comprovação de segurança é o **Relatório de Conformidade**. Este dossiê técnico deve ser elaborado e assinado por engenheiro habilitado e mantido à disposição da fiscalização, sendo parte integrante do processo de licenciamento no sistema Mosaico.

##### 3.2.1 Conteúdo Obrigatório do Relatório

O relatório deve conter:

1. **Memória de Cálculo Detalhada:** Demonstração teórica dos níveis de campo elétrico (V/m) e densidade de potência (W/m<sup>2</sup>) nas áreas acessíveis.
2. **Delimitação de Zonas:** Identificação clara das áreas de acesso restrito (população ocupacional) e áreas de livre acesso (população em geral).
3. **Análise de Áreas Críticas:** Mapeamento de hospitais, clínicas, escolas e creches num raio de 50 metros da instalação. O Ato 17.865 mantém a exigência de atenção especial a estas áreas, onde o princípio da precaução e a minimização visual e radiante são prioritários.
4. **Medições em Campo (Quando Aplicável):** Para estações de alta potência ou ambientes de múltiplos emissores (sites compartilhados) onde o cálculo teórico aponta proximidade com os limites, é obrigatória a realização de medições radiométricas utilizando sondas isotrópicas calibradas.

#### 3.3 Metodologias de Cálculo e Fórmulas de Distância

A avaliação teórica baseia-se na determinação da **Distância de Conformidade** ( $r$ ), que é o raio mínimo de segurança ao redor da antena. O Ato 17.865 e seus anexos (especificamente o Subanexo II) estabelecem as fórmulas para este cálculo.

### 3.3.1 Fórmulas de Campo Distante

Para a região de campo distante, onde a relação entre campo elétrico e magnético é constante (impedância do espaço livre  $\approx 377 \Omega$ ), a densidade de potência  $S$  ( $W/m^2$ ) é calculada e comparada aos limites. A fórmula derivada para a distância mínima, referenciada como **Fórmula B.1** (para população em geral) e **Fórmula B.2** (para ocupacional) na documentação técnica da Anatel, deriva da relação de Friis com fatores de reflexão :

Onde:

- $r$ : Distância de conformidade (metros).
- EIRP: Potência Efetiva Isotrópica Radiada (Watts). É o produto da potência do transmissor pelo ganho da antena e perdas do sistema.
- $K$ : Fator de reflexão do solo. O regulamento tipicamente exige o uso de  $K = 2.56$  (considerando reflexão de campo de 60% em tensão, somando-se 1.6 ao quadrado) ou  $K = 4$  (para reflexão total de 100% em situações conservadoras), dependendo da geometria do site.
- $S_{lim}$ : Limite de densidade de potência para a frequência de operação, conforme tabelas do Ato 17.865 (baseadas na ICNIRP).

### 3.3.2 Considerações sobre Campo Próximo

Em radiodifusão (FM e TV), devido às grandes aberturas verticais das antenas e altas potências, as áreas de interesse (como o topo de edifícios vizinhos ou a base da torre) frequentemente situam-se na região de **Campo Próximo Radiante** (Fresnel). Nestas regiões, a fórmula de campo distante subestima a complexidade do campo. O Ato exige, nestes casos, o uso de modelagem numérica (como Método dos Momentos ou FDTD) ou a aplicação de modelos de "envelope cilíndrico" (Cylindrical Envelope) para determinar as distâncias de segurança com maior precisão.

## 3.4 Dispensa de Avaliação (Isenção)

Certas estações podem ser dispensadas da apresentação do Relatório de Conformidade completo se atenderem a critérios de "inelegibilidade" baseados em baixa potência e altura de instalação. O **Subanexo IV** do Ato 17.865 define tabelas e fórmulas simplificadas para esta dispensa. Por exemplo, estações de radioamador ou serviços auxiliares de baixa potência que instalem suas antenas a uma altura tal que a distância para o público seja manifestamente superior à distância de conformidade calculada podem declarar a conformidade via formulário simplificado no Mosaico.

## 4. Documentação para Minicom e Anatel: O Projeto Técnico de Viabilidade

A apresentação ao Ministério das Comunicações e à Anatel consolida-se no **Projeto Técnico de Viabilidade**. Este documento deve demonstrar que a estação proposta atende aos objetivos de cobertura (função social da radiodifusão) sem causar interferências prejudiciais a outras estações licenciadas ou planejadas.

## 4.1 O Modelo de Propagação "Deygout-Assis"

Um requisito fundamental, e frequentemente motivo de indeferimento técnico por erro metodológico, é a escolha do modelo de propagação para os cálculos de interferência. Enquanto normas internacionais como a ITU-R P.1546 são usadas para estimativa estatística de cobertura (ponto-área), a Anatel, através de atos como o **Ato nº 9751/2022**, exige explicitamente o uso de métodos determinísticos ponto-a-ponto para a análise de interferência em terrenos acidentados, característicos da geografia brasileira. O método mandatório é o **ITU-R P.526 associado ao método de Assis (1971)**, conhecido na engenharia brasileira como **Deygout-Assis**.

### 4.1.1 A Física do Modelo Deygout-Assis

A necessidade deste modelo híbrido advém das limitações da teoria clássica de difração para a topografia tropical.

- **Método de Deygout (1966):** Resolve o problema de múltipla difração por gumes de faca (knife-edges). Ele identifica o obstáculo "principal" (aquele com maior parâmetro de difração  $\nu$ ) no perfil do terreno entre transmissor e receptor, calcula sua perda, e divide o percurso em sub-percursos, aplicando a lógica recursivamente. É excelente para cristas de montanhas agudas.
- **Correção de Assis (1971):** O engenheiro Mauro Soares de Assis, em seu trabalho seminal "A simplified solution to the problem of multiple diffraction over rounded obstacles", introduziu uma correção vital. A maioria dos morros brasileiros não são gumes perfeitos, mas possuem topos arredondados. A difração sobre uma superfície curva gera perdas adicionais significativas em comparação a um gume afiado.
  - Assis modelou os obstáculos como cilindros com raio de curvatura  $R$ .
  - A perda total é a soma da perda por gume de faca (Deygout) mais um termo de correção devido à curvatura (efeito cilíndrico).
  - A aplicação deste modelo tende a prever *maiores* atenuações do sinal interferente sobre morros arredondados, o que muitas vezes viabiliza tecnicamente canais que seriam inviáveis sob modelos puramente de gume de faca (que superestimariam o sinal interferente).

A documentação técnica (memoriais e mapas de cobertura) deve explicitar que o software de predição utilizado implementa este algoritmo específico. O uso de modelos genéricos (como Okumura-Hata ou Longley-Rice sem as devidas correções) para a análise de interferência é tecnicamente inadequado para a conformidade regulatória brasileira.

## 4.2 Relações de Proteção e Tabelas de Referência

A viabilidade técnica é comprovada matematicamente através das **Relações de Proteção (D/U)**. O projeto deve demonstrar que, no contorno protegido de qualquer estação vizinha, o sinal da nova estação (Interferente - U) está suficientemente abaixo do sinal da estação existente (Desejado - D).

Os valores de referência estão consolidados no **Ato nº 9751/2022** (para TV e RTV) e na **Resolução nº 721/2020** (para Rádio).

### Tabela de Relações de Proteção (TV Digital)

A tabela abaixo exemplifica os critérios críticos para TV Digital que devem constar nos cálculos do projeto:

Cenário (Desejado / Interferente)	Relação Co-Canal (dB)	Adjacente Inferior (N-1)	Adjacente Superior (N+1)
<b>Digital / Digital</b>	19 dB	-31 dB	-31 dB
<b>Digital / Analógico</b>	34 dB	-31 dB	-31 dB
<b>Analógico / Digital</b>	7 dB	-6 dB	-12 dB
<b>Analógico / Analógico</b>	45 dB	-6 dB	-12 dB

*Interpretação:* Para proteger uma estação digital vizinha operando no mesmo canal, o sinal da nova estação digital não pode exceder o nível do sinal protegido menos 19 dB. Se o contorno protegido é definido em 51 dB $\mu$ V/m (UHF), o sinal interferente máximo permitido é 51 - 19 = 32 dB $\mu$ V/m.

### 4.3 Elementos do Projeto Técnico (Checklist)

Para submissão no sistema Mosaico da Anatel e instrução processual no MCom, o projeto deve conter:

1. **Memorial Descritivo:** Detalhamento dos equipamentos (transmissor, cabos, antenas), com indicação de perdas e ganhos para cálculo da ERP.
2. **Diagramas de Irradiação:** Diagramas polar horizontal e vertical da antena proposta. O uso de tilt elétrico e mecânico é uma ferramenta crucial para reduzir a radiação em direção a estações vizinhas (viabilidade espectral) e em direção ao solo próximo (viabilidade RNI).
3. **Mapas de Cobertura:** Gerados com o modelo ITU-R P.1546 (para o serviço) e Deygout-Assis (para interferência). Devem mostrar o contorno protegido (ex: 66 dB $\mu$ V/m para FM local, 51 dB $\mu$ V/m para TV Digital UHF) sobre a mancha urbana.
4. **Estudo de Viabilidade de Frequência:** Planilha detalhando todas as estações co-canal e adjacentes num raio de coordenação (tipicamente até 400 km), com o cálculo das margens de proteção (D/U) em cada ponto crítico.
5. **Qualificação Técnica:** ART de projeto e instalação.

## 5. Estratégias de Integração Documental e Conclusão

A elaboração da documentação para MCom, Anatel e DECEA não deve ser tratada como três tarefas isoladas, mas como um processo iterativo de engenharia.

### 5.1 O Ciclo de Otimização

1. **Restrição Aeronáutica (Input):** O DECEA define o teto máximo da torre (ex: 50 metros devido à Superfície Cônica).
2. **Adaptação RNI (Processamento):** Com a torre limitada a 50m, as antenas de alta potência ficam mais próximas do solo. O cálculo RNI (Ato 17.865) deve ser feito. Se a distância de conformidade (r) tocar o solo ou edifícios vizinhos, deve-se reduzir a potência ou alterar o diagrama da antena.
3. **Viabilidade de Espectro (Output):** Com a altura e potência ajustadas pelas restrições aeronáuticas e de saúde, roda-se o modelo Deygout-Assis. A cobertura atinge os 70% da área urbana exigidos pelo Ato 9751? Se não, busca-se um novo local e o ciclo reinicia.

## 5.2 Conclusão

A aprovação de projetos de radiodifusão no atual cenário normativo brasileiro exige precisão. A "viabilidade" é um estado de equilíbrio entre a segurança física do espaço aéreo (comprovada via SysAGA e topografia SIRGAS2000), a segurança biológica da população (comprovada via Relatório de Conformidade RNI e Ato 17.865) e a integridade espectral (comprovada via modelo Deygout-Assis e Relações de Proteção).

A inobservância dos detalhes técnicos aqui expostos — seja a confusão de Datums altimétricos no OPEA, a aplicação incorreta das fórmulas B.1/B.2 no RNI, ou o uso de modelos de propagação simplistas — resulta invariavelmente em atrasos regulatórios. Portanto, a documentação deve ser encarada como a expressão formal de um rigoroso projeto de engenharia, alinhado às melhores práticas e às exigências legais vigentes.

## Referências citadas

1. Guia para autorização de OBJETOS PROJETADOS NO ESPAÇO AÉREO (OPEA) - Prefeitura de Navegantes -, <https://navegantes.sc.gov.br/wp-content/uploads/2024/07/opea.pdf>
2. Guia para autorização OBJETOS PROJETADOS NO ESPAÇO AÉREO (OPEA) - Prefeitura, [https://prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/licenciamentos/guia\\_srpvsp.pdf](https://prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/licenciamentos/guia_srpvsp.pdf)
3. COMAER Ica - 63-19 - 20200901 | PDF | Regras de voo por instrumentos | Pista - Scribd, <https://pt.scribd.com/document/485387194/COMAER-ica-63-19-20200901>
4. Tutorial OPEA | PDF | Aeroporto - Scribd, <https://pt.scribd.com/document/685385484/Tutorial-OPEA>
5. Sistema de Gerenciamento de Processos AGA - DECEA, <https://aga.decea.mil.br/sysaga>
6. PROCESSOS DA ÁREA DE AERÓDROMOS (AGA) NO ÂMBITO DO COMAER - SysAGA, <https://sysaga.decea.mil.br/download/55>
7. Como abrir processo para OPEA? - Flight Consultoria Aeronáutica, <https://flightconsultoria.com.br/como-abrir-processo-para-opea/>
8. Anatel atualiza os requisitos técnicos para a exposição humana a ..., <https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/noticias/anatel-atualiza-os-requisitos-tecnicos-para-a-exposicao-humana-a-campos-eletromagneticos>
9. Ato nº 17865, de 30 de dezembro de 2023 - Anatel, <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/atos-de-requisitos-tecnicos-de-gestao-do-espectro/2023/1914-ato-17865>
10. Anatel atualiza requisitos para exposição a campos eletromagnéticos - DPL News, <https://dplnews.com/anatel-atualiza-requisitos-para-exposicao-a-campos-eletromagneticos/>
11. ANATEL publica novas normas para distâncias mínimas de antenas até a população, <https://unopr.com.br/anatel-publica-novas-normas-para-distancias-minimas-de-antenas-ate-a-populacao/>
12. Ato nº 9751, de 06 de julho de 2022 - Anatel, <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/atos-de-requisitos-tecnicos-de-gestao-do-espectro/2022/1688-ato-9751>
13. Ato nº 9751, de 06 de julho de 2022 - Anatel - Agência Nacional de Telecomunicações, <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/component/content/article/159-atos-de-requisitos-tecnicos-de-gestao-do-espectro/2022/1688-ato-9751>
14. Optimization of the propagation model choice by measuring field and artificial intelligence - SET, <https://www.set.org.br/ijbe/ed4/Artigo%201.pdf>
15. BROADCAST ENGINEERING - SET, <https://www.set.org.br/ijbe/ed5/IJBE-v5-2019.pdf>
16. The Deygout's method | Download Scientific Diagram - ResearchGate, [https://www.researchgate.net/figure/The-Deygouts-method\\_fig1\\_263534570](https://www.researchgate.net/figure/The-Deygouts-method_fig1_263534570)
17. Fast



computation of radio wave propagation effects,

<http://www.tommsch.com/images/science/diffraction.pdf> 18. A simplified solution to the problem of multiple diffraction over rounded obstacles, <https://ieeexplore.ieee.org/document/1139895/>

19. Recommendation ITU-R P.526-11,

[https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.526-11-200910-S%21%21PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.526-11-200910-S%21%21PDF-E.pdf)