ECONSTOR
Make Your Publications Visible.

A Service of
ZBW
Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft
Leibniz Information Centre for Economics

Martins, Bruna de Abreu; Arango, Lucas Gustavo; Kubota, Luis Claudio

Working Paper

Análise sobre o enterramento de infraestrutura de redes dos setores de distribuição de energia e telecomunicações

Texto para Discussão, No. 2727

Provided in Cooperation with:
Institute of Applied Economic Research (ipea), Brasília

Suggested Citation: Martins, Bruna de Abreu; Arango, Lucas Gustavo; Kubota, Luis Claudio (2022) : Análise sobre o enterramento de infraestrutura de redes dos setores de distribuição de energia e telecomunicações, Texto para Discussão, No. 2727, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília,
https://doi.org/10.38116/td2727

This Version is available at:
https://hdl.handle.net/10419/261042

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

WWW.ECONSTOR.EU

Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft

TEXTO PARA DISCUSSÃO

2727

ANÁLISE SOBRE O ENTERRAMENTO DE INFRAESTRUTURA DE REDES DOS SETORES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA E TELECOMUNICAÇÕES

BRUNA DE ABREU MARTINS
LUCAS GUSTAVO ARANGO
LUIS CLAUDIO KUBOTA

ipea

TEXTO PARA DISCUSSÃO

2727

Rio de Janeiro, janeiro de 2022

ANÁLISE SOBRE O ENTERRAMENTO DE INFRAESTRUTURA DE REDES DOS SETORES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA E TELECOMUNICAÇÕES[1]

BRUNA DE ABREU MARTINS[2]

LUCAS GUSTAVO ARANGO[3]

LUIS CLAUDIO KUBOTA[4]

1. Este estudo faz parte de uma série, que inclui o *Texto para Discussão Análise dos Conflitos do Compartilhamento de Postes entre os Setores de Distribuição de Energia e Telecomunicações* (no prelo). Os autores agradecem os comentários de membros da Secretaria de Desenvolvimento da Infraestrutura (SDI) do Ministério da Economia (ME) e de Katia Rocha, do Ipea. Quaisquer erros remanescentes são de responsabilidade dos autores.

2. Pesquisadora do Programa de Pesquisa para o Desenvolvimento Nacional (PNPD) na Diretoria de Estudos e Políticas Setoriais de Inovação e Infraestrutura (Diset) do Ipea; e doutoranda na Escola de Economia de São Paulo da Fundação Getulio Vargas (FGV). *E-mail*: <bruna.martins.2021@fgv.edu.br>.

3. Pesquisador do PNPD na Diset/Ipea. *E-mail*: <lucasarango10@yahoo.com.br>.

4. Técnico de planejamento e pesquisa na Diset/Ipea. *E-mail*: <luis.kubota@ipea.gov.br>.

Governo Federal

Ministério da Economia
Ministro Paulo Guedes

ipea **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**

Fundação pública vinculada ao Ministério da Economia, o Ipea fornece suporte técnico e institucional às ações governamentais – possibilitando a formulação de inúmeras políticas públicas e programas de desenvolvimento brasileiros – e disponibiliza, para a sociedade, pesquisas e estudos realizados por seus técnicos.

Presidente
CARLOS VON DOELLINGER

Diretor de Desenvolvimento Institucional
MANOEL RODRIGUES JUNIOR

Diretora de Estudos e Políticas do Estado, das Instituições e da Democracia
FLÁVIA DE HOLANDA SCHMIDT

Diretor de Estudos e Políticas Macroeconômicas
JOSÉ RONALDO DE CASTRO SOUZA JÚNIOR

Diretor de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais
NILO LUIZ SACCARO JÚNIOR

Diretor de Estudos e Políticas Setoriais de Inovação e Infraestrutura
ANDRÉ TORTATO RAUEN

Diretora de Estudos e Políticas Sociais
LENITA MARIA TURCHI

Diretor de Estudos e Relações Econômicas e Políticas Internacionais
IVAN TIAGO MACHADO OLIVEIRA

Assessor-chefe de Imprensa e Comunicação
ANDRÉ REIS DINIZ

OUVIDORIA: http://www.ipea.gov.br/ouvidoria
URL: http://www.ipea.gov.br

Texto para Discussão

Publicação seriada que divulga resultados de estudos e pesquisas em desenvolvimento pelo Ipea com o objetivo de fomentar o debate e oferecer subsídios à formulação e avaliação de políticas públicas.

© Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – **ipea** 2022

Texto para discussão / Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.- Brasília : Rio de Janeiro : Ipea , 1990-

ISSN 1415-4765

1.Brasil. 2.Aspectos Econômicos. 3.Aspectos Sociais. I. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.

CDD 330.908

As publicações do Ipea estão disponíveis para *download* gratuito nos formatos PDF (todas) e EPUB (livros e periódicos). Acesse: http://www.ipea.gov.br/portal/publicacoes

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade dos autores, não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada ou do Ministério da Economia.

É permitida a reprodução deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidas.

JEL: K23; K32; L94; L96.
DOI: http://dx.doi.org/10.38116/td2727

SUMÁRIO

SINOPSE

ABSTRACT

1 INTRODUÇÃO.....6

2 *BENCHMARKING* INTERNACIONAL.....6

3 ENTERRAMENTO 11

4 ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA 29

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 45

REFERÊNCIAS.....47

SINOPSE

Este *Texto para Discussão* analisa, por meio de lições aprendidas referentes ao *benchmarking* internacional, principais benefícios e uma análise econômico-financeira, a implantação das redes subterrâneas e seus impactos nos setores de energia e telecomunicações. A implementação das redes subterrâneas de distribuição de energia elétrica é uma realidade no mundo inteiro, mas, ainda que o compartilhamento dessa infraestrutura traga benefícios mútuos para os setores envolvidos, no Brasil a penetração desse tipo de empreendimento permanece bastante baixa, devido principalmente ao alto investimento requerido. Com relação à qualidade da energia elétrica, as redes subterrâneas melhoram a confiabilidade do sistema, apresentando valores melhores de indicadores de continuidade em relação aos das redes aéreas. Essa diminuição provoca um ganho econômico para as distribuidoras de energia em relação ao custo da energia não distribuída e às compensações pagas aos consumidores por causa das violações dos limites desses indicadores. Desse modo, busca-se quantificar o aumento de faturamento para as distribuidoras em função da redução da energia não distribuída e comparar a viabilidade econômica desse tipo de rede em relação às redes aéreas. Para isso, um estudo de caso hipotético em dez regiões distintas no Brasil é conduzido com o objetivo de mostrar como a viabilidade econômica varia de região para região. Os resultados mostraram que para localidades com uma altíssima densidade de carga e valores elevados de interrupções de energia, as redes subterrâneas são mais viáveis economicamente do que as aéreas.

Palavras-chave: redes subterrâneas; compartilhamento de infraestrutura; qualidade da energia elétrica; confiabilidade; energia não distribuída.

ABSTRACT

This *Discussion Paper* analyzes the implementation of underground networks and their impacts on the energy and telecommunications sectors, through the main benefits, lessons learned regarding international benchmarking and an economic-financial analysis. The implementation of underground distribution networks is a reality all over the world and although the sharing of this infrastructure brings mutual benefits to the sectors involved, in Brazil the penetration of this type of grid remains quite low, mainly due to the high investment required. Regarding to the power quality, underground networks improve the system reliability, presenting better values of continuity indicators in relation to those of aerial networks. This improvement causes an economic gain for the electricity companies, reducing the cost of undistributed energy and the compensation paid to consumers due to violations on these indicators limits. Therefore, the current work presents a methodology to quantify the increase in billing for electricity companies due to the implementation of underground networks and compare the economic viability of this type of network in relation to aerial networks. For this, a hypothetical case study in ten different regions in Brazil is conducted in order to show how economic viability varies from region to region. The results showed that for regions with a very high load density and high values of energy interruptions, underground networks are more economically viable than the aerial ones.

Keywords: underground networks; infrastructure sharing; power quality; reliability; undistributed energy.

1 INTRODUÇÃO

O compartilhamento da infraestrutura de postes entre os setores de distribuição de energia elétrica e telecomunicações enfrenta inúmeros conflitos, principalmente em relação à gestão do ativo, ao preço e ao uso irregular do poste. Dessa forma, os benefícios que o uso compartilhado da infraestrutura dos postes poderia gerar à sociedade – tais como redução dos custos de ambos os setores, expansão do acesso aos serviços, entre outros – ficam prejudicados.

Com o intuito de mitigar esses problemas entre os setores e, com isso, melhorar o bem-estar da sociedade, o enterramento das redes dos serviços de distribuição de energia elétrica e telecomunicações é uma das possíveis alternativas a ser implementada. Assim, o objeto de estudo deste trabalho é entender o funcionamento do enterramento das redes de distribuição de energia, explorando os prós e contras dessa alternativa, mapear o uso do enterramento mundo afora e analisar a viabilidade econômica.

Na seção 2 será apresentado um *benchmark* internacional sobre o uso do enterramento das redes, seguido, na seção 3, por um panorama sobre o enterramento, elencando os benefícios e malefícios à sociedade, os tipos de redes e as alternativas para ratear os custos do enterramento. Na seção 4, realizar-se-á uma análise econômico-financeira sobre a viabilidade do enterramento em comparação com a rede aérea de distribuição de energia. Por fim, na seção 5, serão apresentadas as considerações finais.

2 *BENCHMARKING* INTERNACIONAL

No Brasil, o enterramento de redes aéreas dos serviços de utilidade pública iniciou-se na década de 1940 em áreas com alta densidade populacional, impulsionado por uma empresa privada de energia elétrica. Contudo, o enterramento não avançou muito, principalmente se comparado com países desenvolvidos. A título de comparação, as capitais Rio de Janeiro e São Paulo, respectivamente, possuem apenas 11% e 7% das redes em formato subterrâneo em relação ao total de rede, enquanto Nova Iorque e Chicago registram 72% e 46%, nessa ordem (CPqD, s.d.). Mesmo que o processo de enterramento seja lento no Brasil, alguns agentes têm interesse na implementação das redes subterrâneas, uma vez que há potenciais ganhos com essa medida.

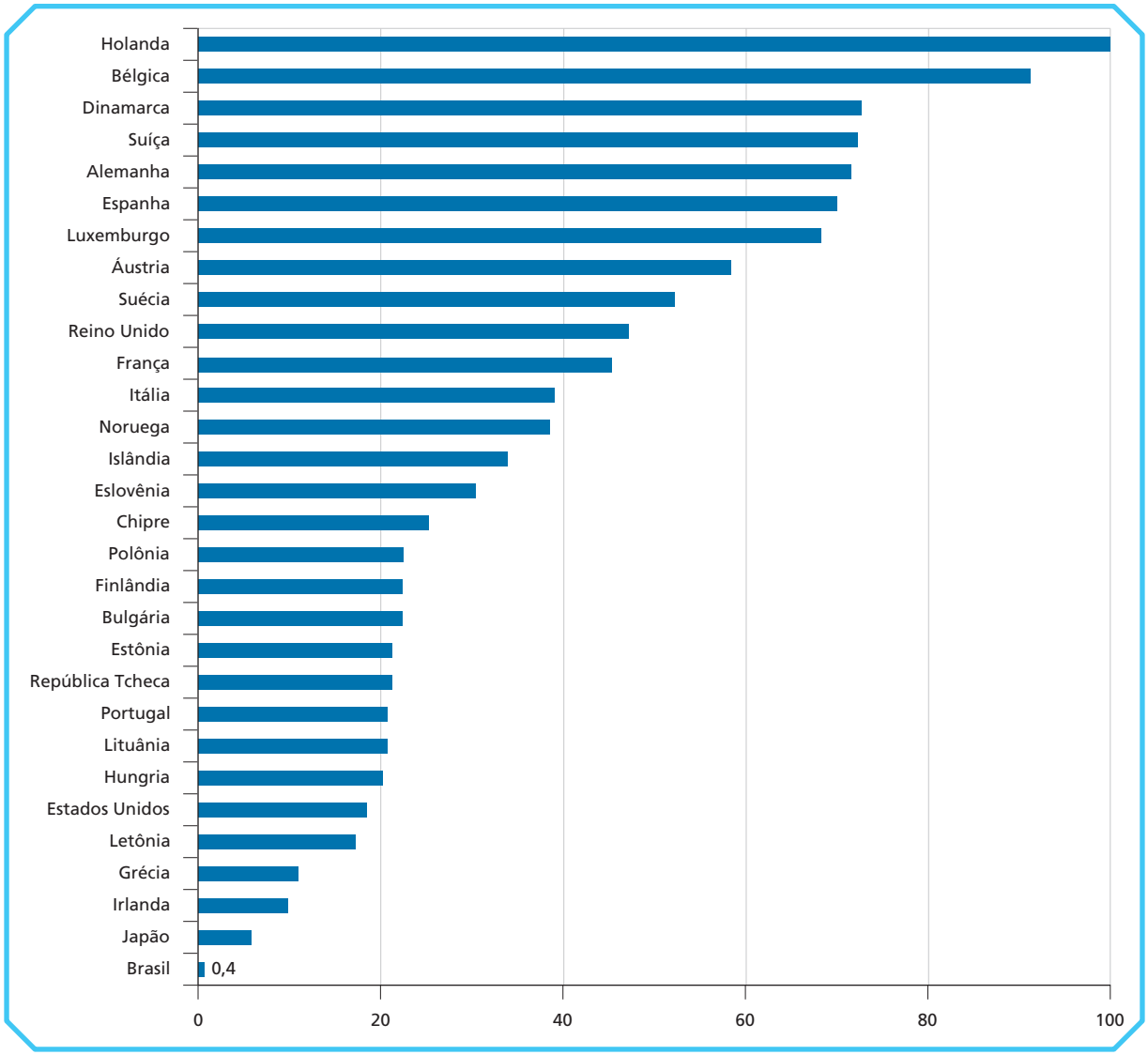
Em relação ao restante do mundo, grande parte das principais cidades utiliza redes subterrâneas como parte de sua infraestrutura para provimento dos serviços de energia elétrica. A forma mais avançada desse empreendimento – denominada galeria subterrânea – permite o compartilhamento da infraestrutura entre os setores de energia, telecomunicações, saneamento, gás natural, transporte, entre outros.

Sobre a penetração de redes subterrâneas em alguns países desenvolvidos da Europa, o percentual de enterramento em relação ao total de rede é muito alto, enquanto no Brasil é baixíssimo, aproximadamente 0,4% (gráfico 1).

GRÁFICO 1

Redes subterrâneas no Brasil e em países e selecionados

(Em %)



Fonte: CPqD (s.d.).

Mesmo considerando que alguns países tenham que enfrentar adversidades oriundas de eventos climáticos desfavoráveis e outros ofensores naturais (gelo, tornados, terremotos), os quais são aspectos motivadores do enterramento, o percentual no Brasil ainda é muito baixo.

A fim de entender melhor o uso do enterramento em outros países, as próximas subseções apresentarão alguns casos particulares. Essa análise por país é integralmente baseada em CPqD (s.d.).

2.1 Argentina

Na Argentina, o enterramento das redes de energia elétrica e telefonia começou há várias décadas, gerando, com isso, uma proporção entre redes subterrâneas e aéreas relativamente alta em Buenos Aires. Entretanto, as novas redes aéreas implementadas a partir da década de 1990 para atender aos serviços de televisão por assinatura e internet causaram um estranhamento na população, levando à criação de iniciativas a favor do enterramento com o intuito de requalificação urbana. Com isso em mente, a legislação vem promovendo o compartilhamento de infraestrutura passiva de forma a incentivar a substituição das redes aéreas por subterrâneas.

Essa nova onda de substituição de infraestrutura começou a ser financiada por iniciativa de empresas monopolistas, que investiam para uso próprio. Com o tempo, as iniciativas multissetoriais ganharam espaço devido à combinação de fontes de recursos para o financiamento de galerias e dutos compartilhados.

A experiência da Argentina mostra que legislações muito impositivas ou restritivas isoladas não são capazes de reduzir nem resolver os problemas das redes aéreas. A melhor solução encontrada pelo país foi a criação de iniciativas multissetoriais que envolvam diversos agentes e a sociedade, além de incentivar o uso compartilhado de infraestruturas subterrâneas existentes.

2.2 Austrália

Na Austrália, o enterramento de redes de telefonia começou há várias décadas, enquanto essa prática para redes de energia elétrica e outros serviços tem apenas cerca de vinte anos.

Com maior proporção de redes subterrâneas de telefonia, o uso das redes aéreas se intensificou na década de 1990, para atender aos serviços de televisão por assinatura, o que gerou uma reação semelhante à observada na Argentina. Essa não aceitação por parte da população motivou legislações restritivas que impediram a proliferação dessas redes, mas não eliminaram as existentes.

Outro importante fator motivador para substituir as redes aéreas pelas subterrâneas é a necessidade de resiliência dos serviços frente a ciclones, incêndios e outras intempéries.

A fim de financiar essa forma de infraestrutura, as prestadoras de telefonia investiram em dutos subterrâneos próprios durante várias décadas. Todavia, recentemente as iniciativas

multissetoriais vêm ganhando destaque devido à possibilidade de combinação de fontes de financiamento. Há também iniciativas custeadas por *royalties* da extração mineral, mas essas iniciativas capitaneadas pelo setor elétrico não incluem necessariamente o enterramento das redes de telecomunicações.

A experiência da Austrália mostra que as iniciativas capitaneadas pelas distribuidoras de energia elétrica e pautadas por critérios técnicos, financeiros e sociais tendem a ser mais sustentáveis a longo prazo, mas todo o processo pode ser facilitado pelo compartilhamento das infraestruturas subterrâneas existentes.

2.3 Canadá

No Canadá, o enterramento da infraestrutura de serviços é uma prática adotada há décadas nas áreas com maior densidade populacional, embora no restante do país as redes aéreas predominem. Vale destacar que os novos bairros e condomínios vêm optando pela implementação de redes subterrâneas.

Enquanto em outros países são diversos os motivos pelos quais a rede subterrânea é escolhida em detrimento da aérea, no Canadá essa decisão é majoritariamente atrelada a questões estéticas e urbanísticas. Dessa forma, os custos são arcados pelos demandantes dessa infraestrutura, isto é, municípios e/ou usuários dos serviços, sendo que, em casos muito específicos, as distribuidoras oferecem programas de apoio quando há benefício social ou cultural à sociedade.

Apesar do alto índice de desenvolvimento humano (IDH), o país é enorme para adotar apenas, ou em grandes proporções, as redes subterrâneas. Desse modo, como o enterramento não é pré-requisito para os investimentos no programa nacional de banda larga, a maior proporção das novas redes é aérea, enquanto a subterrânea é adotada somente nos locais onde há dutos e galerias.

2.4 China

Na China, as primeiras iniciativas de enterramento começaram há cerca de 25 anos e de forma descentralizada. A fim de incentivar o desenvolvimento dos serviços que demandam por rede, melhorar a segurança e requalificar o espaço urbano, novas políticas baseadas em investimentos consistentes em termos de projeto, gestão e governança foram promulgadas a partir de 2015.

Embora o enterramento faça parte de um projeto nacional em algumas áreas, com o investimento financiado majoritariamente pelo poder público, em alguns casos há o emprego de parcerias público-privadas.

A experiência na China revela que uma política cuidadosa, centralizada e criteriosa de enterramento, com o uso de técnicas construtivas e métodos de governança adequados, é mais vantajosa em relação às iniciativas descentralizadas. Apesar de essas iniciativas individuais resolverem parte do problema local, muitas vezes elas se desdobram em problemas para outros setores e redes áreas, além de demandar por recursos que poderiam ser mais bem aproveitados.

2.5 Estados Unidos

Nos Estados Unidos, a implementação de redes subterrâneas iniciou em áreas densamente habitadas no início do século XX. Com isso, os programas federais e estaduais de financiamento dessa forma de infraestrutura existem há décadas, enquanto as iniciativas em prol de resiliência e estética são recentes.

Vale destacar que as políticas nacionais ou estaduais não são generalizadas, pois definem diretrizes apenas para áreas especiais, como áreas históricas, cênicas ou vulneráveis. Nesses casos, os custos podem ser financiados por programas federais ou estaduais.

A infraestrutura subterrânea já faz parte da concepção urbanística do país, inclusive com o intuito de preservar o fornecimento de serviços em áreas vulneráveis a eventos meteorológicos. O caso dos Estados Unidos difere um pouco dos demais por não apontar as redes aéreas de telecomunicações como motivação para investir em redes subterrâneas.

A experiência estadunidense mostra que, em razão dos custos proibitivos, o enterramento generalizado das redes não prosperou no país, sendo atualmente restrito a novos bairros e condomínios, com financiamento do município e/ou contrapartida das distribuidoras de energia, ou localidades com alto poder aquisitivo, onde os moradores aceitam arcar com os custos do investimento.

2.6 Japão

No Japão, as redes aéreas são majoritárias, enquanto as subterrâneas vêm ganhando atenção há poucos anos, com o objetivo de requalificação urbana em áreas especificas de Tóquio. Dessa forma, o responsável pelo investimento em infraestrutura subterrânea é o poder público local, sendo que alguns desses investimentos estavam atrelados aos Jogos Olímpicos de 2020.

A experiência do Japão revela que é possível manter de forma organizada as redes aéreas, mesmo quando há alta densidade populacional e inúmeros provedores de serviços compartilhando a infraestrutura. Além disso, a decisão do país de investir em infraestrutura subterrânea

ensina a importância de estabelecer critérios objetivos e oportunos para definir a necessidade da implementação dessas redes.

2.7 União Europeia

A heterogeneidade dos países que compõem a União Europeia reflete na implementação de redes subterrâneas. Em algumas capitais, o enterramento foi adotado há mais de um século, enquanto em outras, ainda avança a passos bem lentos. A fim de comparação, na Grécia, apenas 10% da rede é subterrânea, enquanto na Holanda é 100%. Essa discrepância se deve a vários fatores, tais como: densidade populacional, IDH e renda *per capita*.

As iniciativas pioneiras foram adotadas em áreas com alta densidade populacional devido aos aspectos urbanísticos. Em contrapartida, as iniciativas mais recentes estão relacionadas à necessidade de maior resiliência dos serviços aos desastres meteorológicos. Assim como nos Estados Unidos, não há indícios de que o enterramento surgiu para resolver questões relacionadas à ocupação excessiva dos postes.

O investimento com as redes subterrâneas varia de país para país, podendo ser financiada por municípios ou distribuidoras de energia elétrica com contrapartida em tarifas.

As diversas experiências na União Europeia mostram que o enterramento das redes não é a situação predominante no continente e deve ser escolhida com parcimônia a depender das características intrínsecas de cada região.

3 ENTERRAMENTO

O enterramento das vias aéreas como solução dos conflitos entre os setores de distribuição de energia elétrica e telecomunicações no que tange ao uso compartilhado dos postes é uma alternativa atraente, pois ataca o problema estrutural do elevado número de prestadores de telecomunicações demandando acesso a um número limitado de pontos nos postes e traz benefícios que se estendem no longo prazo.

Podemos ver esses benefícios de longo prazo na figura 1. As fotos da rua Voluntários da Pátria, no Rio de Janeiro (à esquerda e centro), mostram resultados positivos do projeto Rio-Cidade, implementado na década de 1990, que extinguiu os fios suspensos naquela via. Em contrapartida, a foto da rua Humaitá (à direita) – localizada a poucos metros de distância – apresenta postes com ocupação desordenada.

FIGURA 1

Rio de Janeiro: comparação entre vias com e sem redes subterrâneas

Elaboração dos autores.
Obs.: Fotos à esquerda e centro, rua Voluntários da Pátria; foto à direita, rua Humaitá.

O setor de telecomunicações ganharia acesso suficiente para os operadores se conectarem, melhoraria os serviços ofertados e resolveria inúmeros conflitos com o setor de energia elétrica. O setor de energia elétrica, por sua vez, também melhoraria a qualidade e continuidade dos serviços de energia, conforme Bollen (2000), Dugan *et al*. (2003) e Baggini (2008), reduzindo as despesas operacionais, e a sociedade teria menos problemas de acesso aos serviços de ambos os setores, com mais segurança e menos poluição visual no espaço urbano.

QUADRO 1

Interesse dos agentes na implantação das redes subterrâneas

	Distribuidoras de energia elétrica	Operadoras de telecomunicações	Municípios	Usuários
Solução técnica	Elevadas densidades de carga	Propiciar espaço para todos os operadores	-	-
Melhoria da qualidade	Interrupções devidas a vento, chuvas, abalroamento de postes	Indisponibilidade, substituição de cabos de cobre e aumento de largura de banda	Interrupções de serviço de semáforos, iluminação pública	Interrupções de atividades econômicas, produtividade, eliminação de geradores, qualidade de vida
Despesas operacionais	Eliminação de podas	Uso dos postes	Podas da arborização urbana	-
Eliminação de postes e estética	Melhoria da reputação	Melhoria da reputação	Circulação de pedestres, paisagem urbana agradável, turismo	Circulação de pedestres, paisagem urbana agradável, valorização de imóveis
Redução de fraudes e furtos	Dificultar o acesso a terceiros e furtos	Dificultar o acesso a terceiros	Dificultar furtos	Redução das tarifas
Redução de acidentes	Queda de condutores, eletrocussões, ruptura de postes	Ruptura de postes	Problemas com tráfego	Redução das batidas em postes

Fonte: LMDM (2014).

Ainda conforme LMDM (2014), as redes subterrâneas são demandadas basicamente nas situações que se seguem:

- alta concentração de carga, onde a rede aérea não comporta um grande número de alimentadores e transformadores;
- necessidade de redes de alta confiabilidade quando existem cargas sensíveis que necessitam de baixo índice de interrupção de energia;
- melhoria de indicadores de continuidade de fornecimento e melhoria da segurança, tais como duração equivalente de interrupção por unidade consumidora (DEC), frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora (FEC), acidentes etc.; e
- solicitação da sociedade, em função dos aspectos estéticos, paisagismo, qualidade de vida, preservação histórica, segurança, entre outros.

Existem, entretanto, alguns aspectos que dificultam a implementação do enterramento de redes. Um dos entraves é a ausência de um modelo pré-definido para o investimento em rede subterrânea no país. Dessa forma, os programas para incentivar essa infraestrutura são diversos, sendo que os mais recentes são atrelados aos programas municipais ou para atender a própria demanda dos clientes desses serviços.

Ademais, as redes subterrâneas podem ser implementadas sob configurações diferentes, a depender das características das regiões-alvo do enterramento, inclusive dependendo do formato do enterramento, se parcial ou total.

Considerando essas possíveis configurações, Copel (2010) elaborou uma compilação com algumas dessas características de modo a orientar e incentivar a implementação das redes subterrâneas pelos agentes. Com o intuito de resumir essas orientações elencadas pelo estudo da Copel (2010), as tabelas 1 e 2 apresentam um compilado dos resultados.

TABELA 1

Enterramento parcial

Tipo de rede	Densidade de carga típica	Custo aproximado/km	Custo/kVA	DEC - FEC qualitativo	Observações
Áreas urbanas com equipamentos semienterrados ou tipo pedestal	Entre 400 kVA/km e 1.500 kVA/km	R$ 3,2 milhões	R$ 1.600	0,7 a 1,5	Necessidade de liberação de espaços públicos e/ou privados para a instalação de equipamentos.
Áreas urbanas com equipamentos em poste	Entre 200 kVA/km e 1.500 kVA/km	R$ 2,5 milhões	R$ 1.800	1,2 a 2,0	Necessidade de liberação de espaços públicos para a instalação de postes com equipamentos.
Rede radial com recursos para condomínios	Entre 300 kVA/km e 800 kVA/km	R$ 1,5 milhão	R$ 2.000	2,0 a 2,5	Necessidade de espaços no condomínio. Tipicamente com equipamentos semienterrados ou pedestal.
Rede radial com recursos em áreas especiais (parques de preservação ambiental, ilhas etc.)	Entre 50 kVA/km e 200 kVA/km	R$ 450 mil - R$ 600 mil	R$ 2.500 - R$ 3.000	2,2 a 3,0	É necessária a rede subterrânea por questões ambientais. Tipicamente com equipamentos semienterrados e cabos diretamente enterrados.

Fonte: Copel (2010).
Obs.: kVA – quilovolt-ampere.

Apesar do elevado custo de implementação por quilômetro, se considerarmos a densidade de carga típica de cada tipo de rede implementada, observamos que o custo por kVA não é tão discrepante entre os tipos de redes.

TABELA 2

Enterramento total

Tipo de rede	Densidade de carga típica	Custo aproximado/km	Custo/kVA	DEC-FEC qualitativo	Observações
Rede reticulada ou *network*	Maior que 3.000 kVA/km ou 48 MVA/km²	R$ 12 milhões	R$ 800	0 a 0,2	Rede com câmaras subterrâneas para abrigo dos transformadores e rede de baixa tensão interligada.
Áreas urbanas – totalmente enterrada	Maior que 1.500 kVA/km ou 24 MVA/km²	R$ 5 milhões	R$ 1.500	0,5 a 1,0	Tipicamente construída com cabos acomodados em dutos e equipamentos acomodados em câmaras e caixas subterrâneas.

Fonte: Copel (2010).
Obs.: MVA – megavolt-ampere.

No caso do enterramento total, o custo aproximado por quilômetro é mais que o dobro na rede reticulada em comparação às redes enterradas nas áreas urbanas. Em contrapartida, há uma

compensação considerável pelo custo por kVA, isto é, o custo por kVA é de apenas R$ 800 para as redes reticuladas e de R$ 1.500 nas áreas urbanas.

Além da decisão de enterramento parcial ou total, o enterramento das redes de energia como alternativa para mitigar os conflitos oriundos do compartilhamento de postes poderia ser feito sob dois arranjos distintos. No primeiro, o enterramento seria apenas dos serviços de telecomunicações e, dessa forma, o compartilhamento dos postes com as distribuidoras de energia elétrica tornar-se-ia, de certa forma, dispensável ao setor de telecomunicações.

Essa opção, no entanto, acabaria com os benefícios de se compartilhar infraestrutura, isto é, o valor total investido e os custos de manutenção recairiam totalmente sobre o setor de telecomunicações e seus consumidores. Além disso, como os postes ainda estariam disponíveis para as distribuidoras de energia elétrica, as operadoras de telecomunicações ainda poderiam utilizar os postes de maneira inadequada, caso não haja regulação, fiscalização e gestão assertiva.

A segunda opção de enterramento seria mais ampla, pois as redes aéreas tanto de energia elétrica como de telecomunicações seriam substituídas por redes subterrâneas. Nesse caso, por um lado, a nova infraestrutura seria compartilhada, gerando benefícios aos setores e à sociedade, mas, por outro lado, levaria a alguns problemas que atualmente nos deparamos com o compartilhamento de postes, ainda que muito menores.

A infraestrutura de galerias subterrâneas pode ser compartilhada entre os setores de energia, telecomunicações, saneamento, gás natural, transporte, entre outros, assim como as obras civis e os respectivos custos.

Um exemplo de enterramento de redes que deve ser analisado é o caso do Rio de Janeiro, uma vez que nos mostra como a decisão de quem deve investir pode gerar conflitos. A Lei Complementar nº 111/2011 definiu que as redes aéreas do município do Rio de Janeiro seriam substituídas pelas redes subterrâneas, sendo de responsabilidade da concessionária de energia realizar essa transição. Além disso, o Decreto nº 37.035/2013 definiu que, caso houvesse alguma obra nas vias e logradouros públicos, essas obras deveriam prever a implementação de dutos, sendo responsabilidade das empresas de energia elétrica e de telecomunicações implementar suas redes durante essas obras. Vale destacar ainda que, sob o Decreto nº 37.035/2013, esses dutos seriam propriedade do município, assim como a gestão de compartilhamento dessa infraestrutura.

Entretanto, será que as distribuidoras de energia têm interesse em realizar esse investimento? Ou, ainda, será que qualquer outro setor quer dispender tamanho investimento nessa infraestrutura? Pode ser que não, portanto, nesse caso, seria necessário criar um incentivo adequado para que esse investimento venha a ser realizado.

Caso haja um único detentor, sob quais condições e preços o acesso a esses dutos seria disponível aos demais setores? Tendo os possíveis conflitos gerados pela precificação em mente, não seria melhor o investimento também ser compartilhado?

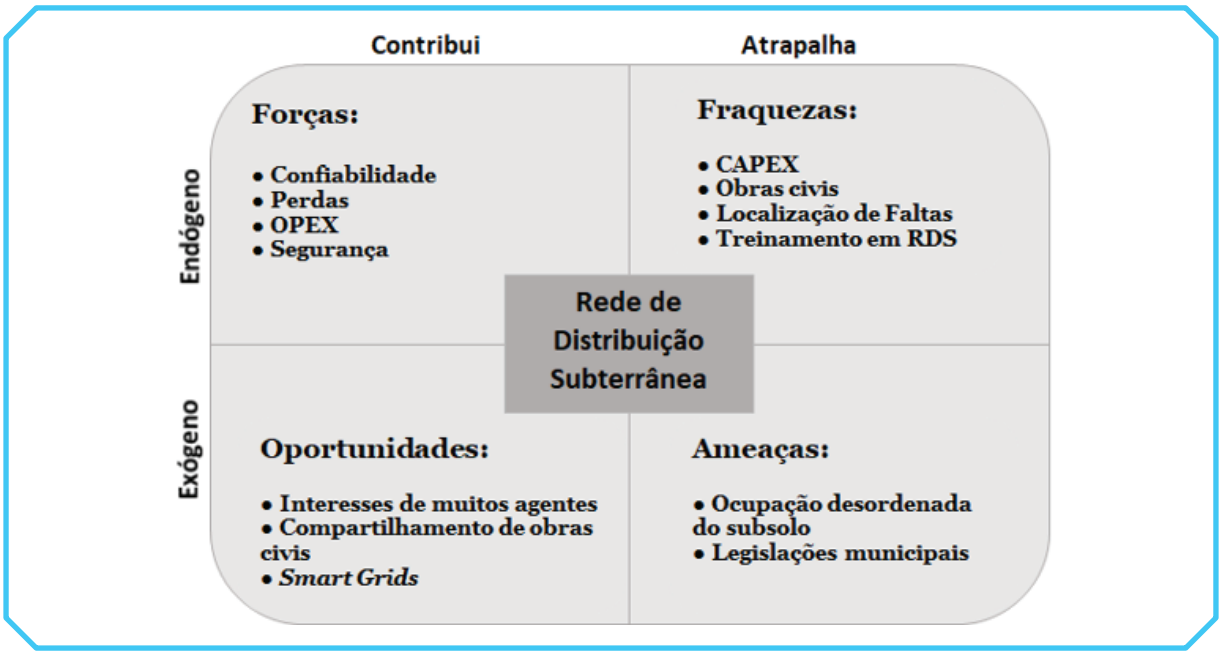
Ademais, por se tratar de um volumoso investimento, seria importante definir se e como esses valores poderiam ser repassados aos consumidores sem gerar grandes distorções.

Outro ponto importante a ser analisado é referente a modicidade tarifária do setor elétrico. Sem o compartilhamento de postes com o setor de telecomunicações, haveria redução das receitas das distribuidoras de energia elétrica e, consequentemente, dos subsídios repassados aos consumidores via modicidade tarifária. De acordo com os entrevistados durante a elaboração do diagnóstico do problema,[1] as distribuidoras de energia elétrica não têm grandes benefícios econômicos com o compartilhamento de postes, portanto, a grande questão é saber se a modicidade tarifária poderia ser flexibilizada e quais os impactos que poderiam gerar ao bem-estar do consumidor.[2]

Apesar dos questionamentos sobre a viabilidade econômica do enterramento, sabe-se que é uma alternativa importante a ser estudada. A figura 2 executa uma análise *Strengths, Weaknesses, Opportunities e Threats* (SWOT), baseada em forças, fraquezas, oportunidades e ameaças da implantação de projetos de redes subterrâneas.

1. Ver Martins (2021).
2. Tema de outro estudo em fase de elaboração.

FIGURA 2
Análise SWOT da implantação de rede subterrânea



Fonte: Sinapsis (2013).
Elaboração dos autores.
Obs.: 1. Opex – *operational expenditure* (despesas operacionais); Capex – *capital expenditure* (despesas de capital); e RDS – rede de distribuição subterrânea.
2. Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

À luz dessa análise SWOT, serão apresentados a seguir alguns prós e contras dessa alternativa.

3.1 Aspectos positivos do enterramento

Segundo Copel (2010), os benefícios de implementação das redes subterrâneas podem ser sintetizados da forma apresentada a seguir:

- estética;
- segurança;
- redução dos custos de manutenção;
- melhoria dos índices de continuidade de energia e maior confiabilidade;

- maior acessibilidade;
- processo mais limpo; e
- maior vida útil.

Conforme apresentação realizada pelo CPqD (s.d.), alguns benefícios quantificáveis do enterramento para um estudo australiano incluíam:

- redução das colisões de veículos com postes;
- redução das perdas causadas por interrupções de energia elétrica;
- redução dos custos de manutenção de rede;
- redução dos custos de poda de árvores;
- impacto benéfico sobre os valores dos imóveis;
- redução dos riscos de choques elétricos; e
- menor suscetibilidade das redes a queimadas.

De acordo com LMDM (2014), o sistema subterrâneo de distribuição é mais complexo e requer um investimento mais elevado, porém, em contrapartida, apresenta uma série de benefícios, tais como:

- redução significativa das interrupções pela diminuição da exposição dos circuitos aos agentes externos, incrementando, assim, a confiabilidade do serviço;
- eliminação dos circuitos aéreos, o que melhora bastante a aparência do sistema e, principalmente, ajuda a preservar as árvores, contribuindo, consequentemente, para o embelezamento das cidades e conservação do meio ambiente;
- aumento da segurança para a população, com a redução do risco de acidentes por ruptura de condutores e contatos acidentais; e
- redução dos custos de manutenção, como podas de árvores e deslocamento de turmas de emergência.

Além disso, as redes subterrâneas resolvem questões relacionadas à poluição visual geradas pela desorganização das redes aéreas. A infraestrutura aérea causa poluição visual e riscos à segurança e à ordem pública devido aos cabos expostos e sem marcação, algumas vezes soltos, outras em quantidades superiores ao que o poste suporta.

Adicionalmente, a rede subterrânea aumenta a confiabilidade do sistema por apresentar menores índices de interrupção. Os curtos-circuitos decorrentes de descargas atmosféricas e galhos de árvores tocando os condutores, comuns em uma infraestrutura de postes, não existiriam para o caso da infraestrutura subterrânea. Além disso, haveria a redução de custos referentes a podas de árvores, que, no caso das redes aéreas, são necessárias em razão dos curtos-circuitos que os galhos de árvores podem causar ao tocar os condutores de energia. Também seriam reduzidas as perdas de energia com a implantação de redes subterrâneas. Essa redução nas perdas comerciais de energia ocorre principalmente em função da diminuição do furto de energia, ato muito comum nas redes aéreas de distribuição.

Ademais, o furto ou roubo de cabos de cobre e fibra ótica se torna quase impossível nesse tipo de infraestrutura. Todas essas vantagens, não consideradas numa análise de investimentos, representam o custo evitado na implantação desse tipo de rede, que, se corretamente considerados, elevam bastante a viabilidade econômica referente a esse tipo de infraestrutura As redes subterrâneas destacam-se pela vantagem de dificultar o uso desordenado, irregular e à revelia da infraestrutura de postes entre os entes do setor de telecomunicações, uma vez que não seria tão fácil e barato infringir as normas quando a infraestrutura está enterrada.

Embora o investimento para a implementação da rede subterrânea seja elevado, como será visto a seguir, o capital necessário para manter as instalações é consideravelmente menor se comparado ao das redes aéreas. Como a infraestrutura é subterrânea, não haveria tanta exposição às intempéries e reduziria o seu uso irregular e inadequado, o que aumentaria a sobrevida do sistema, bem como reduziria as despesas em manutenção.

Ademais, essa alternativa resolveria, à priori, o problema de sobreutilização dos postes e suas consequências, tais como falha no fornecimento de serviços de telecomunicações e de energia elétrica, risco à segurança de transeuntes, perda de produto potencial etc., pois a nova estrutura seria desenvolvida para atender à demanda atual e potencial.

Com isso, todos os problemas referentes à fiscalização e gestão dos ativos, que, no caso dos postes é bastante deficiente, praticamente não existiriam em função de o acesso a esse tipo de infraestrutura ser bastante restrito. Ou seja, problemas quanto à ocupação desordenada, clandestina e à revelia praticamente não ocorreriam.

A questão da saturação de pontos também poderia ser mitigada, visto que, nas bandejas dos dutos, a quantidade de cabos que podem ser passados normalmente é superior que a nos postes. Numa situação de saturação e modernização dos setores mediante os avanços tecnológicos, em que a demanda tende a crescer, esse tipo de infraestrutura é mais adequado (LMDM, 2014).

Dessa forma, o enterramento poderia gerar benefícios à sociedade em diversos aspectos, tais como: reduzir a perda dos consumidores que ficam constantemente sem acesso aos serviços que demandam por conexões em postes; diminuir os riscos à segurança; incentivar a entrada de novos ofertantes de serviços de telecomunicações, entre outros (LMDM, 2014).

3.2 Aspectos negativos do enterramento

Há, todavia, um motivo chave para a relação entre redes subterrâneas e aéreas ser tão baixa. O investimento em capital físico necessário para efetuar a transição de uma rede para a outra é elevado e, portanto, é um fator fundamental ao analisar os prós e contras do enterramento *vis-à-vis* os postes. Além disso, é importante destacar que esse investimento pode ser repassado às tarifas, isto é, em última análise, o alto investimento poderia ser cobrado dos consumidores de serviços de telecomunicações e/ou energia elétrica, impactando diretamente o bem-estar dos consumidores.

A partir de um estudo realizado pela SindiTelebrasil, entidade patronal que reunia as grandes operadoras de telecomunicações,[3] a respeito da Lei Complementar nº 111/2011, que definiu a extinção da rede aérea no município do Rio de Janeiro em até cinco anos (SindiTelebrasil, 2019), é possível termos uma dimensão do investimento necessário para o enterramento.

Segundo o estudo, para eliminar 390 mil postes do Rio de Janeiro teriam que ser investidos cerca de R$ 26 bilhões, considerando a utilização da infraestrutura por doze operadoras de telecomunicações. Ademais, caso essa infraestrutura subterrânea fosse viável em dez anos, isto é, o dobro do tempo estipulado pela lei complementar, o valor presente líquido (VPL) desse investimento seria da ordem de R$ 18 bilhões.

Logo, caso esse investimento seja feito apenas pelas operadoras de telecomunicações, pode ser inviável para as pequenas e médias empresas, bem como em lugares com baixa densidade populacional e poucos ofertantes do serviço. Ademais, não haveria, nesse caso, o compartilhamento de postos e, com isso, a modicidade tarifária seria extinta.

3. A partir de 2020, a SindiTelebrasil passou a se chamar Conexis Brasil Digital.

Por fim, caso o enterramento seja realizado de forma compartilhada entre os setores de telecomunicações e de energia elétrica, o uso compartilhado dessa nova infraestrutura deve ser bem regulamentado para que os atuais conflitos entre os setores não se perpetuem.

3.3 Tipos de redes de distribuição de energia

As redes aéreas e subterrâneas possuem diversas configurações. Dependendo de alguns fatores e da finalidade, uma configuração pode ser escolhida em relação à outra. As redes aéreas são classificadas em três tipos: convencional, compacta e isolada. As subterrâneas podem ser de diversos tipos. Esta subseção foca apenas nas redes subterrâneas radiais e reticuladas na forma mais simples. As subdivisões das redes subterrâneas, como radial com recurso, *mesh* (malha, malhada ou reticulada) e primário seletivo não serão tratadas neste tópico. O quadro 2 resume os diferentes tipos de redes consideradas.

QUADRO 2

Resumo dos principais tipos de redes

Tipo de infraestrutura	Resumo básico
Rede aérea convencional	É o tipo de rede mais encontrada no Brasil, devido ao seu baixo custo de implementação. Os condutores de energia de cobre ou alumínio são caracterizados por serem nus, o que proporciona uma confiabilidade muito baixa, devido principalmente à presença de interrupções ocasionadas quando os galhos de árvores tocam os condutores de energia. Uma poda de vegetação frequente é recomendada para este tipo de rede.
Rede aérea compacta	Ao contrário das redes convencionais, as redes aéreas compactas apresentam uma proteção composta por uma cobertura polimérica em seus condutores de cobre ou alumínio. Devido a esse efeito isolante, os condutores de energia podem ficar mais próximos, reduzindo assim o espaço utilizado, sendo muito comum a utilização de *spacers* (espaçadores). A cobertura polimérica nos condutores aumenta em muito a confiabilidade da rede, diminuindo as interrupções ocasionadas por vegetação tocando os condutores.
Rede aérea isolada	Essa é o tipo de rede aérea com o maior custo de instalação. É composta por três cabos fases isoladas e um cabo mensageiro. Os cabos fases são enrolados em volta do cabo mensageiro de liga de alumínio. Possui uma grande aplicação para alimentadores expressos. A vantagem da rede isolada multiplexada é que o nível de confiabilidade é elevado em comparação com os outros tipos de redes aéreas, além de ocupar menos espaço.
Rede subterrânea radial simples	Caracteriza-se por ter apenas um caminho de alimentação das cargas. Ou seja, se esse caminho for interrompido em razão de alguma contingência, a carga fica sem energia até o problema ser resolvido.
Rede subterrânea reticulada	A rede subterrânea reticulada, malhada ou *network* é caracteriza-se por ter mais de um caminho para alimentação das cargas. Ou seja, se algum caminho for interrompido, outro continua alimentando a carga normalmente.

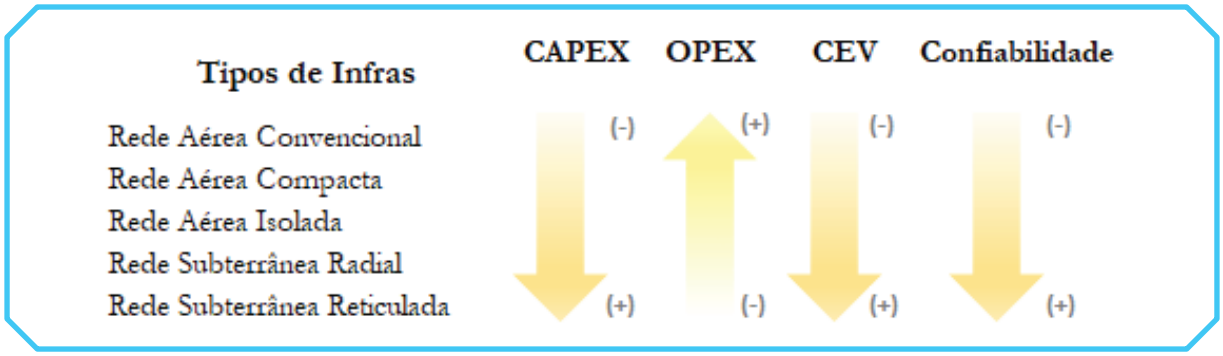
Fonte: Rigoni (2016).

Sabe-se também que existem as redes totalmente e parcialmente enterradas, sendo o custo das totalmente enterradas maior. Para as diferentes configurações de redes existentes, existem

diferentes valores de investimento para implantação, diferentes custos de operação e manutenção, assim como diferentes níveis de confiabilidade.

A figura 3 ilustra a comparação entre os tipos de rede considerados em relação a Capex, Opex, custo evitado (CEV) e confiabilidade.

FIGURA 3
Comparação entre os tipos de redes



Elaboração dos autores.
Obs.: Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

O CEV é percebido por meio da melhoria da confiabilidade e da redução dos índices de interrupção, o que gera um ganho financeiro para a distribuidora.

3.4 Compartilhamento dos custos de enterramento

Um dos principais inibidores do enterramento como alternativa às redes aéreas é o alto investimento necessário. Logo, encontrar uma forma de tornar essa alternativa viável financeiramente é fundamental.

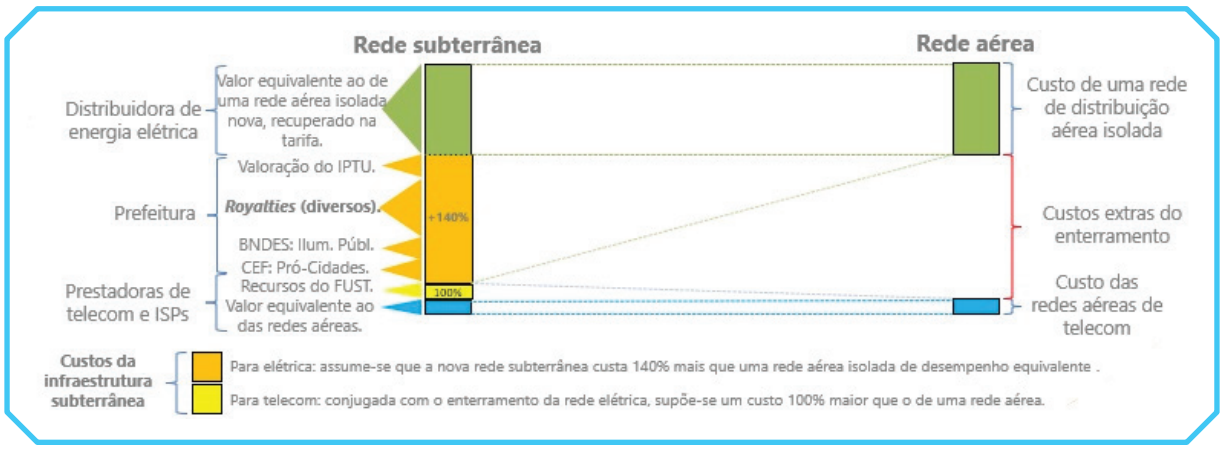
Considerando que as redes subterrâneas seriam utilizadas de forma compartilhada entre diversos setores, analisar possibilidades de compartilhamento dos custos poderia acelerar e viabilizar o processo de enterramento.

Dessa forma, o trabalho desenvolvido pelo CPqD (s.d.) elencou algumas formas para dividir os custos entre os agentes beneficiados, identificando as fontes dos recursos de forma qualitativa.

3.4.1 Enterramento em novos bairros

Uma das maneiras de implementar o enterramento de redes com custos reduzidos é a partir do aproveitamento de obras de novas vias e calçadas em novos bairros. Dessa forma, as verbas para financiar essas obras seriam municipais (orçamento, *royalties*, Imposto Predial e Territorial Urbano – IPTU etc.); aportes de distribuidoras de energia elétrica, possivelmente repassados aos consumidores via tarifa; aportes de operadoras de telecomunicações, com valores equivalentes aos despendidos às redes aéreas; e recursos extras, como o Fundo de Universalização dos Serviços de Telecomunicações (Fust). Na figura 4 é possível observar o compartilhamento de custos proposto pelo estudo.

FIGURA 4
Enterramento em novos bairros



Fonte: CPqD (s.d.).
Obs.: 1. ISPs – Internet Service Providers (provedores de serviço internet); BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social; e CEF – Caixa Econômica Federal.
2. Figura reproduzida em baixa resolução e cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

Sob essa configuração, assume-se que o custo do enterramento para as distribuidoras de energia elétrica seja 140% superior ao custo da rede aérea com desempenho equivalente; e 100% maior para as operadoras de telecomunicações. Vale ressaltar que nesse cenário os custos são reduzidos, pois aproveitam as obras dos novos bairros.

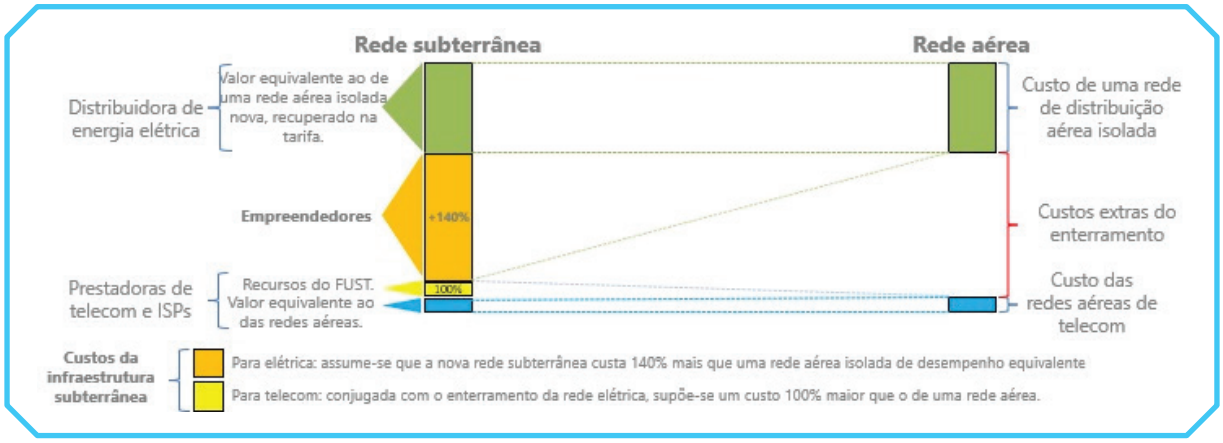
Dessa forma, tanto as distribuidoras de energia elétrica como as operadoras de telecomunicações seriam responsáveis apenas pelo montante equivalente aos custos das redes aéreas, enquanto a diferença do custo seria financiada pela prefeitura e por demais fundos.

3.4.2 Enterramento em novos condomínios

Outra maneira de reduzir os custos de enterramento seria aproveitar as obras de novos condomínios, opção que seria semelhante à observada na construção de novos bairros. Nessa alternativa, o enterramento seria financiado por empreendedores responsáveis pelos novos condomínios; aportes de distribuidoras de energia elétrica, possivelmente repassado aos consumidores via tarifa; e aportes de operadoras de telecomunicações. Podemos observar a divisão proposta pelo estudo do CPqD (s.d.) na figura 5.

FIGURA 5

Enterramento em novos condomínios



Fonte: CPqD (s.d.).

Obs.: Figura reproduzida em baixa resolução e cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

Assim como na configuração anterior, assume-se que o custo do enterramento para as distribuidoras de energia elétrica é 140% superior ao custo da rede aérea com desempenho equivalente; e 100% maior para as operadoras de telecomunicações.

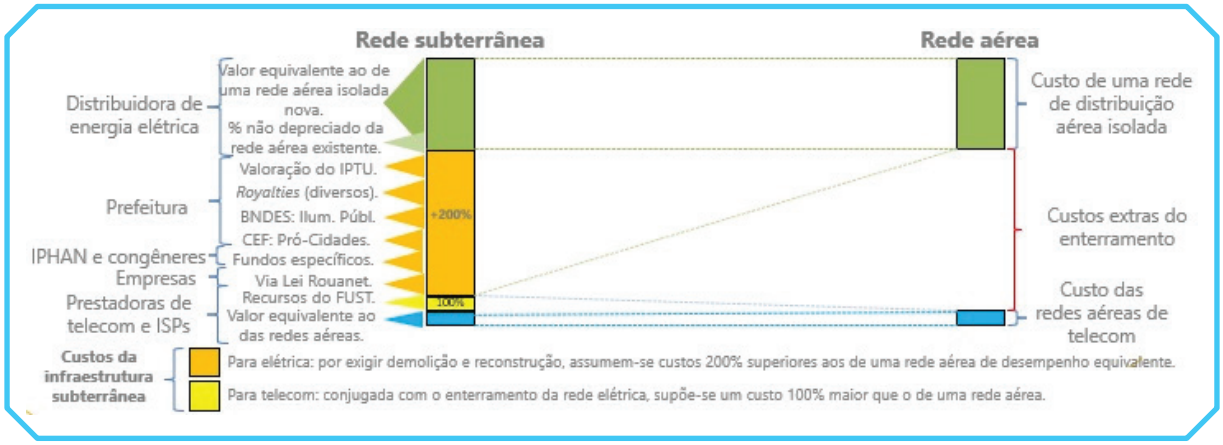
Nesse cenário, as distribuidoras de energia elétrica e as operadoras de telecomunicações despenderiam os recursos equivalentes às redes aéreas, e o custo adicional seria coberto pelos empreendedores dos condomínios e demais fundos.

3.4.3 Substituição da rede aérea pela subterrânea em áreas com valor histórico, cultural ou cênico

Nesse novo cenário, os custos do enterramento poderiam ser financiados por mais fontes de recursos, uma vez que há cunho histórico, cultural ou cênico, isto é, além das distribuidoras de energia elétrica, operadoras de telecomunicações e prefeituras, fundos específicos como do

Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan) e da Lei Rouanet também poderiam financiar essa infraestrutura, conforme esquema apresentado na figura 6.

FIGURA 6
Enterramento em áreas históricas, culturais ou cênicas



Fonte: CPqD (s.d.).
Obs.: Figura reproduzida em baixa resolução e cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

Nesse caso, por não aproveitar uma obra iniciada, as distribuidoras de energia elétrica teriam que arcar com custos de enterramento 200% superior aos equivalentes às redes aéreas. As operadoras de telecomunicações, por sua vez, ainda teriam custos de enterramento 100% maiores do que as redes aéreas.

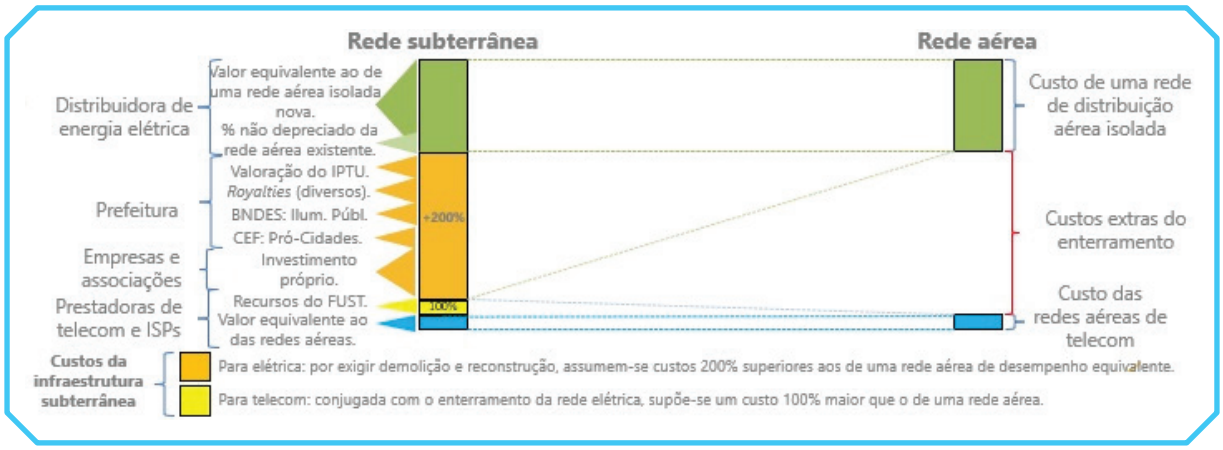
Seguindo o mesmo modelo aplicado anteriormente, distribuidoras de energia elétrica e operadoras de telecomunicações arcariam com os custos equivalentes aos dispêndios necessários com as redes aéreas e o custo adicional seria provido por demais fontes de recursos (prefeituras e fundos específicos).

3.4.4 Requalificação urbana: substituição da rede aérea pela subterrânea em áreas comerciais ou turísticas

Nessa alternativa de compartilhamento de custos, o objetivo principal do enterramento seria a requalificação urbana em prol da valorização de áreas comerciais ou turísticas. Dessa forma, o financiamento de empresas e associações com recursos próprios (tais como recursos de associações comerciais, turísticas e afins) ganha destaque (figura 7).

FIGURA 7

Enterramento em áreas comerciais ou turísticas



Fonte: CPqD (s.d.).

Obs.: Figura reproduzida em baixa resolução e cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

Nesse caso, o enterramento também não seria implementado por meio de outras obras em andamento, portanto, seria 200% mais custoso do que as redes aéreas para as distribuidoras de energia e 100% para as operadoras de telecomunicações. Esses custos adicionais da infraestrutura subterrânea seriam financiados tanto pela prefeitura como pelos recursos de empresas e associações.

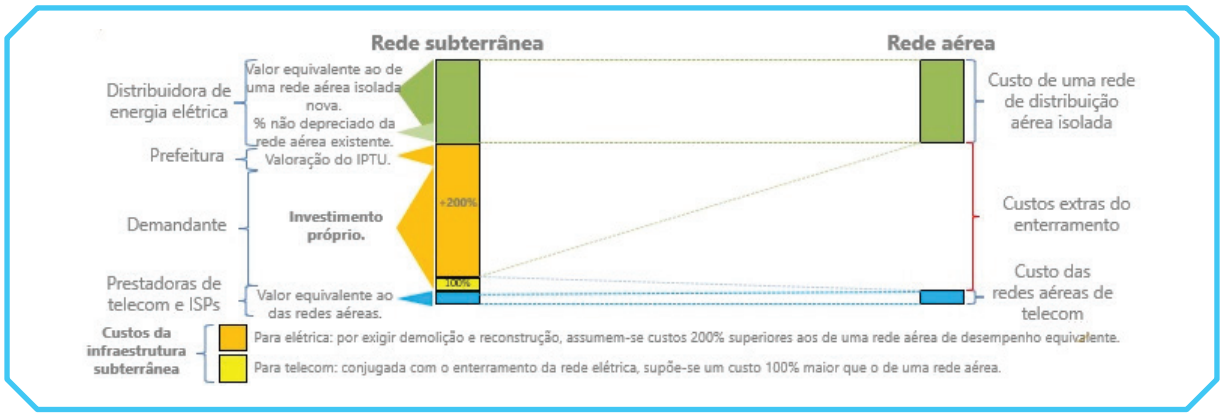
3.4.5 Substituição da rede aérea pela subterrânea sob demanda de entes privados – pessoas físicas ou jurídicas

O enterramento pode ser solicitado por entes privados e, nesses casos, os demandantes da infraestrutura deveriam financiar boa parte do custo adicional que as distribuidoras de energia elétrica e operadoras de telecomunicações teriam para substituir a rede aérea (figura 8).

O enterramento também seria 200% mais custoso do que as redes aéreas para as distribuidoras de energia e 100% para as operadoras de telecomunicações. Ademais, por ser uma demanda privada, o custo adicional deveria ser financiado por investimento direto dos demandantes, bem como pelo IPTU proveniente dessas áreas.

FIGURA 8

Enterramento demandado por entes privados



Fonte: CPqD (s.d.).

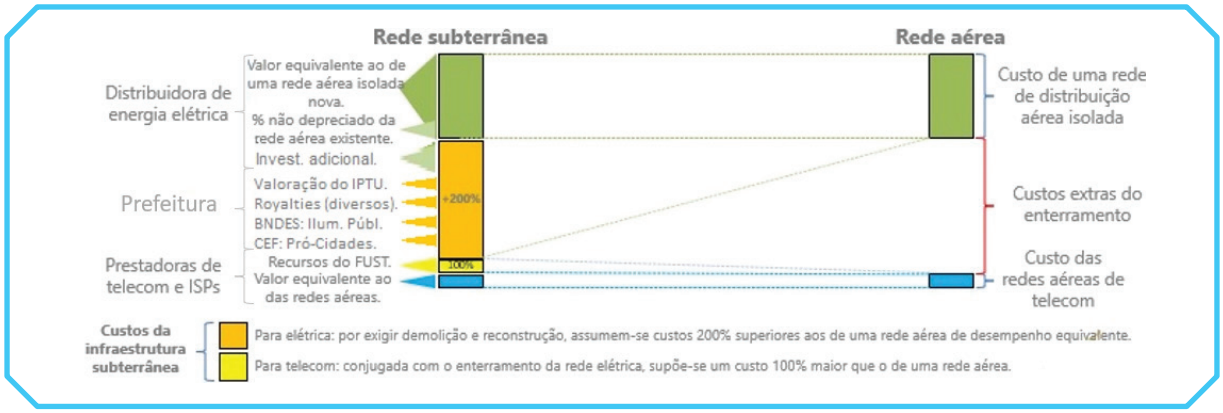
Obs.: Figura reproduzida em baixa resolução e cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

3.4.6 Substituição da rede aérea pela subterrânea por iniciativa da distribuidora de energia elétrica

É possível, ainda, que as distribuidoras de energia elétrica decidam substituir as redes aéreas pelas subterrâneas em função dos benefícios operacionais esperados pelo setor. Nesse caso, as distribuidoras deveriam ser responsáveis por uma parcela do custo adicional da nova infraestrutura, de modo a incentivar os demais interessados a participar desse compartilhamento de custos (figura 9).

FIGURA 9

Enterramento via distribuidoras de energia elétrica



Fonte: CPqD (s.d.).

Obs.: Figura reproduzida em baixa resolução e cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

3.4.7 Substituição da rede aérea pela subterrânea em casos gerais

Embora a maioria dos casos de substituição de redes aéreas pelas subterrâneas se enquadre em uma das situações detalhadas anteriormente, há outras situações em que esse investimento em enterramento não é tão específico.

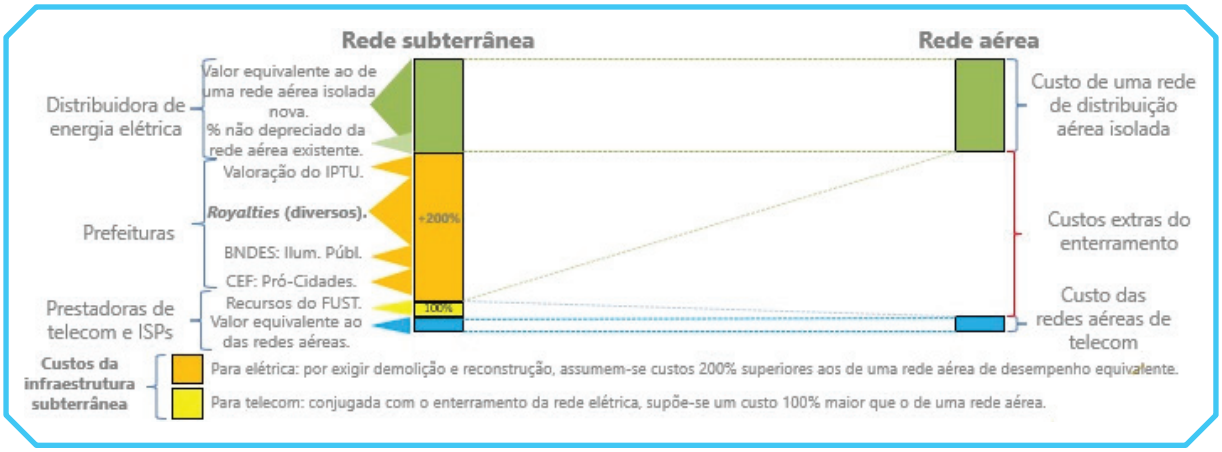
Nesses casos gerais, não haveria o financiamento de fontes específicas, e, portanto, os custos recairiam sobre as distribuidoras de energia elétrica, operadoras de telecomunicações e prefeitura (figura 10).

Com o objetivo de tornar a implementação do enterramento financeiramente viável, seria responsabilidade das prefeituras investir mais nessa infraestrutura, seja por *royalties*, IPTU ou quaisquer outras fontes de recursos disponíveis no orçamento.

De acordo com o CPqD (s.d.), o papel do município como propulsor seria essencial para fazer a transição de redes aéreas para subterrâneas. Nesse caso, ao fornecer dados da ocupação do subsolo e regulamentar essa ocupação, o município seria um gestor natural dessa infraestrutura compartilhada.

FIGURA 10

Enterramento em casos gerais



Fonte: CPqD (s.d.).

Obs.: Figura reproduzida em baixa resolução e cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

Além disso, os municípios possuem diversas fontes de recursos que poderiam financiar tal investimento, como os *royalties* provenientes da exploração de recursos minerais; as parcerias

com associações e empresas, inclusive nos termos das leis de incentivo cultural; os fundos federais para requalificação de áreas com valor histórico, cultural ou cênico; e os financiamentos específicos do BNDES e da Caixa Econômica Federal para infraestrutura urbana.

Por fim, uma vez feito o investimento nessas novas infraestruturas urbanas, os municípios poderiam arrecadar recursos adicionais de IPTU e o aluguel das infraestruturas para os serviços de utilidade pública, segundo CPqD (s.d.).

4 ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA[4]

Apesar de todos os benefícios citados referentes às redes subterrâneas, a questão do custo de implementação é uma barreira que muitas vezes impede a construção desse tipo de infraestruturas. No Brasil, o custo de implementação de uma rede subterrânea é muito superior ao custo de uma rede de distribuição aérea, podendo variar conforme os aspectos construtivos, materiais e equipamentos utilizados, além da configuração da rede.

Sabe-se que, ao longo do tempo, o custo evitado com a implantação das redes subterrâneas pode de alguma forma se tornar viável economicamente. Existe, porém, a dificuldade de se generalizar esses custos evitados em razão das características intrínsecas naturais das regiões onde serão instaladas. Cada região apresenta características diferentes umas das outras com relação a alguns fatores que impactam no custo evitado desse tipo de rede. Entre as quais, podem ser citadas:

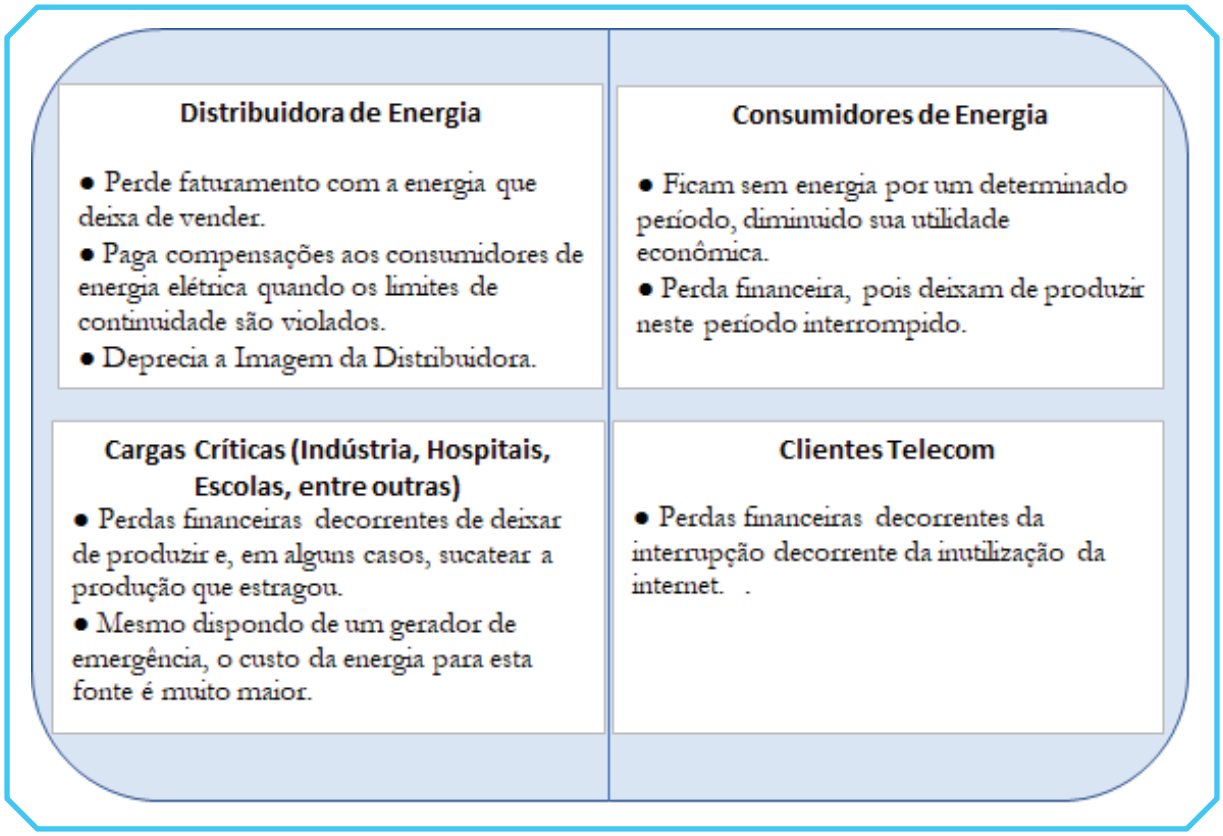
- densidade de carga;
- cargas críticas;
- DEC e FEC; e
- densidade de clientes telecom.

Dependendo dos valores desses atributos, a viabilidade econômica do empreendimento de redes subterrâneas comparando-se com a rede aérea pode variar. A figura 11 representa o impacto das interrupções sobre os agentes: distribuidora de energia elétrica, consumidores de energia elétrica, cargas críticas e clientes de telecomunicações.

4. Mais informações disponíveis em: <https://www.youtube.com/watch?v=yqz3mc91anc>.

FIGURA 11

Impacto das interrupções de energia sobre alguns agentes



Elaboração dos autores.

Obs.: Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

A proposta desta seção consiste, além de quantificar o custo evitado com a implantação das redes subterrâneas de energia, comparar a viabilidade econômica de sua implantação em relação a regiões distintas. Para isso, nas próximas subseções, serão desenvolvidas uma metodologia de quantificação de custo evitado, com base em Arango *et al*. (2017), e uma de análise econômico-financeira de projetos, baseada em Park e Sharp-Bette (1990) e Brasil (2002).

4.1 Quantificação do custo evitado com a implementação de redes subterrâneas

A figura 11 sintetizou os benefícios da implementação das redes subterrâneas para os agentes considerados. Em virtude da dificuldade de se quantificar todos esses benefícios, buscamos o desenvolvimento de um modelo de quantificação parcial de vantagens econômicas para a distribuidora de energia elétrica em função da implementação das redes subterrâneas.

Assim, a seguir, os benefícios da implantação da rede subterrânea sobre a diminuição das interrupções de energia e melhora na confiabilidade do sistema serão quantificados financeiramente por meio do ganho de faturamento da distribuidora com a energia adicional que passa a vender e referente à redução do pagamento de compensações aos consumidores de energia.

4.1.1 Ganho de faturamento com a energia adicional que passa a vender

A quantificação financeira desse benefício acontecerá de forma que com a implementação da rede subterrânea haja uma diminuição do DEC do subsistema em que a rede foi implementada. Essa diminuição do DEC e, consequentemente, da carga interrompida gera um ganho financeiro à empresa, que passa a faturar um valor maior com a venda de energia em função da diminuição do tempo de interrupção.

A equação (1) representa a redução da energia não distribuída ou interrompida, ou seja, a diminuição dessa energia interrompida, que vem a ocorrer com a implementação de uma rede subterrânea, mediante a diminuição do DEC, provoca uma economia, ou ganho, para a distribuidora de energia, que pode ser mensurada de forma geral conforme a seguir.

$$\Delta END = DC.A.\Delta DEC = DC.A.(DEC_{Aéreo} - DEC_{Subterrâneo}) \quad (1)$$

Por meio da equação (2) pode-se estimar qual a fração do DEC pode ser reduzida com a implementação de uma rede subterrânea.

$$DEC_{Subterrâneo} = \rho.DEC_{Aéreo} \quad (2)$$

O resultado de $(1 - \rho)$ representa que a empresa reduziu nesse valor o DEC com a implementação da rede subterrânea.

Substituindo (2) em (1), resulta em:

$$\Delta END = DC.A.DEC_{Aéreo}.(1 - \rho) \quad (3)$$

Sendo:

- ΔEND: redução da energia não distribuída;

- DC: densidade de carga;
- A: área interrompida;
- DEC: duração de interrupção equivalente por consumidor; e
- ρ: percentual de DEC aéreo que corresponde ao DEC subterrâneo.

A expressão (3) sugere que a energia interrompida é proporcional à densidade de carga, área interrompida e redução do DEC. Assim, obviamente, a distribuidora passa a contar com maiores benefícios na implantação de redes subterrâneas em regiões com maiores densidades de carga, maiores áreas interrompidas e maior redução no DEC.

Sabe-se que a redução na energia interrompida provoca grandes economias para a distribuidora, que passa a poder faturar mais energia decorrente dessa diminuição. Assim, podendo faturar mais energia, a distribuidora passa a reduzir seus custos referente a interrupções no fornecimento conforme:

$$\Delta C_{END} = \Delta END.T \tag{4}$$

A expressão (4) sugere que quanto maior for a redução da energia interrompida por meio da implementação da infraestrutura subterrânea, maior a redução do custo com a energia interrompida. A tarifa de energia é outra variável que impacta diretamente na redução do custo com a energia interrompida.

Essa redução de custo com a energia interrompida entra como um benefício econômico para distribuidora, que passa a faturar mais, ou seja, a empresa irá vender mais energia elétrica. Portanto, deve-se considerar a redução de custo com energia interrompida um benefício, ou aumento de receita, num fluxo de caixa para avaliação de empreendimentos de redes subterrâneas.

4.1.2 Pagamento de compensações aos consumidores de energia elétrica

Existem, por sua vez, as compensações a serem pagas pela concessionária aos consumidores quando os indicadores de continuidade violam os limites estabelecidos no módulo 8 da norma dos procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional – (Prodist 8) (Aneel, 2021).

Com a implementação das redes subterrâneas, os valores de frequência de interrupção por unidade consumidora (FIC), duração de interrupção por unidade consumidora (DIC), duração máxima de interrupção contínua por unidade consumidora (DMIC) e duração da interrupção individual ocorrida em dia crítico por unidade consumidora (DICRI) tendem a reduzir e, dessa forma, o valor a ser pago pela concessionária aos consumidores de energia elétrica em compensações também tendem a diminuir. Essa diminuição nos valores representa uma economia para a distribuidora de energia elétrica e deve ser considerada um benefício, ou aumento de receita, para na análise do fluxo de caixa do projeto de redes subterrâneas.

Metodologia da Aneel para cálculo das compensações

Conforme Prodist 8 (Aneel, 2021), as compensações individuais mensais a serem pagas aos consumidores de energia elétrica pela violação dos indicadores de continuidade mensais, podem ser representadas pelas expressões (5) a (8).

$$Comp_{DIC} = \left(\frac{DIC_v}{DIC_p} - 1\right).DIC_p.\frac{EUSD_{médio}}{730}.kei \tag{5}$$

$$Comp_{FIC} = \left(\frac{FIC_v}{FIC_p} - 1\right).FIC_p.\frac{EUSD_{médio}}{730}.kei \tag{6}$$

$$Comp_{DMIC} = \left(\frac{DMIC_v}{DMIC_p} - 1\right).DMIC_p.\frac{EUSD_{médio}}{730}.kei \tag{7}$$

$$Comp_{DICRI} = \left(\frac{DICRI_v}{DICRI_p} - 1\right).DICRI_p.\frac{EUSD_{médio}}{730}.kei \tag{8}$$

O valor da compensação total mensal dispendido pela concessionária de energia elétrica pode então ser calculado por meio de (9).

$$Comp_{Total} = \sum_{i=1}^{n_1} Comp_{FIC\,i} + \sum_{i=1}^{n_2} Comp_{DIC\,i} + \sum_{i=1}^{n_3} Comp_{DMIC\,i} + \sum_{i=1}^{n_4} Comp_{DICRI\,i} \tag{9}$$

Sendo:

- DICv = duração de interrupção por unidade consumidora ou por ponto de conexão, conforme cada caso, verificada no período considerado, expressa em horas e centésimos de hora;
- DICp = limite de continuidade estabelecido no período considerado para o indicador de duração de interrupção por unidade consumidora ou por ponto de conexão, expresso em horas e centésimos de hora;

- DMICv = duração máxima de interrupção contínua por unidade consumidora ou por ponto de conexão, conforme cada caso, verificada no período considerado, expressa em horas e centésimos de hora;

- DMICp = limite de continuidade estabelecido no período considerado para o indicador de duração máxima de interrupção contínua por unidade consumidora ou por ponto de conexão, expresso em horas e centésimos de hora;

- FICv = frequência de interrupção por unidade consumidora ou por ponto de conexão, conforme cada caso, verificada no período considerado, expressa em número de interrupções;

- FICp = limite de continuidade estabelecido no período considerado para o indicador de frequência de interrupção por unidade consumidora ou por ponto de conexão, expresso em número de interrupções e centésimo do número de interrupções;

- DICRIv = duração da interrupção individual ocorrida em dia crítico por unidade consumidora ou ponto de conexão, expressa em horas e centésimos de hora;

- DICRIp = limite de continuidade estabelecido para o indicador de duração da interrupção individual ocorrida em dia crítico por unidade consumidora ou ponto de conexão, expresso em horas e centésimos de hora;

- EUSDmédio = média aritmética dos encargos de uso do sistema de distribuição correspondentes aos meses do período de apuração do indicador;

- 730 = número médio de horas no mês; e

- kei = coeficiente de majoração cujo valor deve ser fixado em:

    - quinze, para unidade consumidora ou ponto de conexão atendidos em baixa tensão;

    - vinte, para unidade consumidora ou ponto de conexão atendidos em média tensão; e

    - vinte e sete, para unidade consumidora ou ponto de conexão atendidos em alta tensão.

Observação: sabe-se que os valores das compensações são pagos pela distribuidora de energia considerando as transgressões nos limites mensais, trimestrais e anuais dos indicadores de

continuidade. Para este trabalho, está considerando-se apenas as transgressões mensais que representam a grande parcela dispendida do valor total das compensações.

Estimativa proposta para os valores das compensações

Ora, para o desenvolvimento da proposta de estimativa dos valores pagos de compensações pela distribuidora de energia elétrica, algumas simplificações e adequações serão executadas para o cálculo das compensações com o intuito de obter os dados disponíveis, sem perder a essência básica da quantificação. Assim, as premissas a seguir serão utilizadas.

1) Os valores de DIC e FIC serão substituídos pelos valores de DEC e FEC, que representam a média ponderada dos valores de DIC e FIC para uma determinada região, com um determinado número de unidades consumidoras.
2) As compensações referentes às violações dos indicadores DICRI e DMIC serão desconsideradas da análise por representar um percentual pequeno em relação à compensação total.
3) Os valores das compensações serão calculados somente para as transgressões mensais, pois representam a maior parcela de compensação em relação à total.

Para este trabalho, o valor estimado das compensações mensais será calculado por meio das expressões de (10) a (13).

Se DECv(S) ≤ DECp e DECv(A) > DECp:

$$\Delta Comp_{DEC} = n_D.\left(\frac{DEC_v(A)}{DEC_p} - 1\right).DEC_p.\frac{EUSD_{médio}}{730}.kei \tag{10}$$

Se DECv(S) > DECp:

$$\begin{aligned}\Delta Comp_{DEC} &= n_D.\left(\frac{DEC_v(A) \quad DEC_v(S)}{DEC_p} - 1\right).DEC_p.\frac{EUSD_{médio}}{730}.kei \\ &= n_D.\left(\frac{(1-\rho).DEC_v(A)}{DEC_p} - 1\right).DEC_p.\frac{EUSD_{médio}}{730}.kei\end{aligned} \tag{11}$$

Se FECv(S) ≤ FECp e FECv(A) > FECp:

$$\Delta Comp_{FEC} = n_F.\left(\frac{FEC_v(A)}{FEC_p} - 1\right).FEC_p.\frac{EUSD_{médio}}{730}.kei \tag{12}$$

Se FECv(S) > FECp:

$$\Delta Comp_{FEC} = n_F.\left(\frac{FEC_v(A) - FEC_v(S)}{FEC_p} - 1\right).FEC_p.\frac{EUSD_{médio}}{730}.kei$$
$$= n_F.\left(\frac{(1-\omega).FEC_v(A)}{FEC_p} - 1\right).FEC_p.\frac{EUSD_{médio}}{730}.kei \quad (13)$$

A economia na compensação mensal pode ser calculada por (14).

$$\Delta Comp_{Total} = \Delta Comp_{DEC} + \Delta Comp_{FEC} \quad (14)$$

Sendo:

- DECv(A) = duração equivalente de interrupção por unidade consumidora ou por ponto de conexão, conforme cada caso, verificada no período considerado, expressa em horas e centésimos de hora, para a rede aérea;
- DECv(S) = duração equivalente de interrupção por unidade consumidora ou por ponto de conexão, conforme cada caso, verificada no período considerado, expressa em horas e centésimos de hora, para a rede subterrânea;
- DECp = limite de continuidade estabelecido no período considerado para o indicador de duração de interrupção equivalente por unidade consumidora ou por ponto de conexão, expresso em horas e centésimos de hora;
- FECv(A) = frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora ou por ponto de conexão, conforme cada caso, verificada no período considerado, expressa em número de interrupções, para a rede aérea;
- FECv(S) = frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora ou por ponto de conexão, conforme cada caso, verificada no período considerado, expressa em número de interrupções, para a rede subterrânea;
- FECp = limite de continuidade estabelecido no período considerado para o indicador de frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora ou por ponto de conexão, expresso ρ ω em número de interrupções e centésimo do número de interrupções;
- ρ = representa o percentual do DEC aéreo que corresponde ao DEC subterrâneo;
- ω = representa o percentual do FEC aéreo que corresponde ao FEC subterrâneo;

- nD = número de unidades consumidoras com violações de DEC; e
- nF = número de unidades consumidoras com violações de FEC.

Portanto, o custo evitado ou a economia que a distribuidora de energia vai ter com a implementação de uma rede subterrânea em vez de uma rede aérea pode ser quantificado por meio de (15).

$$CEV = \Delta C_{END} + \Delta Comp_{Total} = \Delta END.T + \Delta Comp_{DEC} + \Delta Comp_{FEC} \quad (15)$$

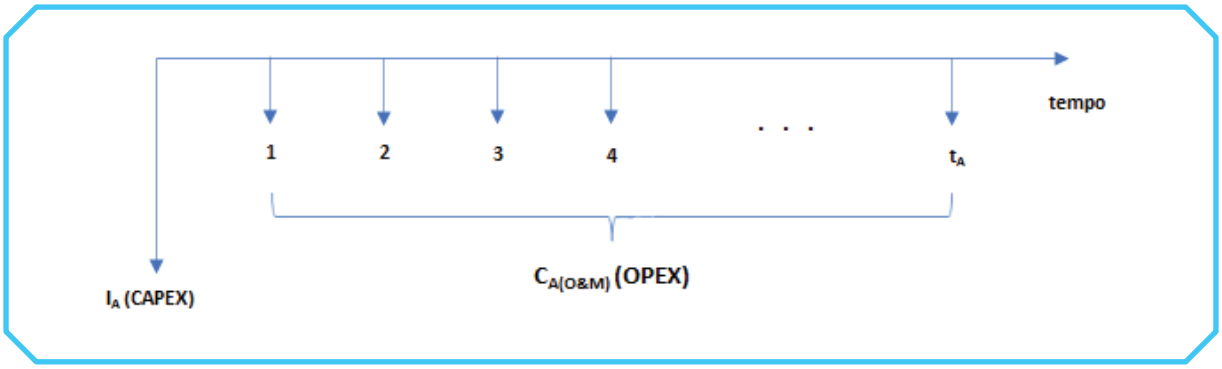
4.1.3 Análise de viabilidade econômica de implementação de redes aéreas *versus* redes subterrâneas

A implementação das redes aéreas exige um investimento inicial da empresa basicamente em material, mão de obra e administrativo (Capex). Conforme LMDM (2014), a estrutura do Capex para a rede aérea contempla basicamente cabos, transformadores, postes, estruturas e acessórios. Os custos recorrentes da infraestrutura aérea contemplam os custos de operação e manutenção (Opex), incluído os custos com podas de vegetação.

Sabe-se que o investimento em uma rede subterrânea é bem maior do que numa rede aérea, porém os custos de operação e manutenção são menores em uma rede subterrânea do que numa rede aérea. A figura 12 representa o fluxo de caixa simplificado de um projeto de redes aéreas.

FIGURA 12

Linha do tempo para análise de investimento referente à infraestrutura aérea



Elaboração dos autores.

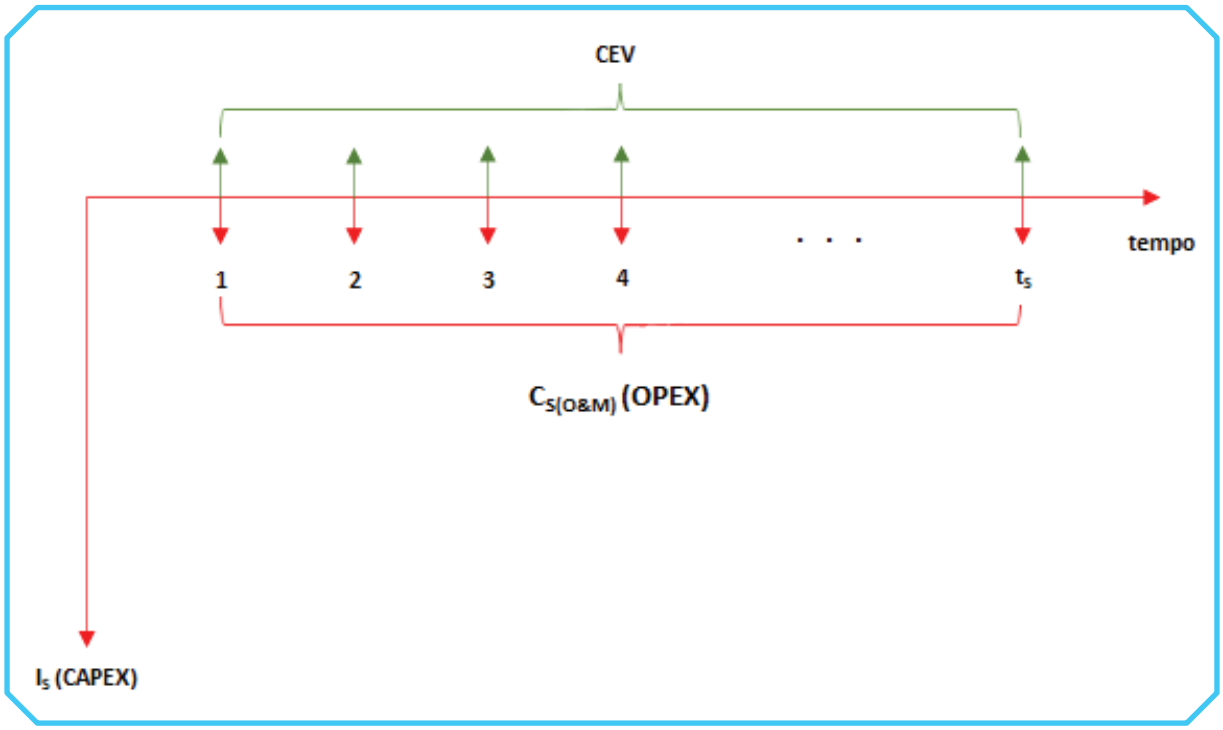
Obs.: 1. I_A – investimento na infraestrutura de distribuição aérea.
CA(O&M) – custos de operação e manutenção referentes à infraestrutura aérea.
t_A – vida útil da infraestrutura aérea.
2. Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

Os custos referentes à implementação de uma infraestrutura subterrânea são basicamente divididos em gastos com material, mão de obra e administrativo, que representam o Capex da empresa quando esta executa o investimento em tal infraestrutura.

Conforme (6), a estrutura do Capex para a rede subterrânea contempla basicamente cabos, transformadores, chaves a gás, acessórios e a construção civil. A obra civil é o principal fator que onera a construção desse tipo de rede, podendo chegar ao valor de 70% do investimento. Já os custos recorrentes das redes subterrâneas compreendem os custos de operação e manutenção que estão contidos no Opex da empresa. O custo de manutenção cai bastante pela ausência de podas na vegetação. A figura 13 representa o fluxo de caixa simplificado do projeto de redes subterrâneas.

FIGURA 13

Linha do tempo para análise de investimento referente à infraestrutura subterrânea



Elaboração dos autores.

Obs.: 1. I_s – investimento na infraestrutura de distribuição subterrânea.

CS(O&M) – custos de operação e manutenção referentes à infraestrutura subterrânea.

t_s – vida útil da infraestrutura subterrânea.

2. Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

Considerando-se a vida útil diferente entre os projetos de infraestrutura aérea e subterrânea e utilizando-se da metodologia de avaliação de investimentos, a melhor maneira de tomar uma

decisão econômica sobre qual projeto implantar seria por meio do indicador de valor anualizado equivalente (VAE), que obedece às expressões (16) e (17).

$$VAE_A = \frac{VPL_A . WACC}{1 - (1 + WACC)^{-t_A}} \tag{16}$$

$$VAE_S = \frac{VPL_S . WACC}{1 - (1 + WACC)^{-t_S}} \tag{17}$$

Sendo o VPL referente à implantação de cada tipo de rede expresso por (18) e (19):

$$VPL_A = -I_A - \sum_{i=1}^{t_A} \frac{C_{A(O\&M)_i}}{(1 + WACC)^{t_A}} \tag{18}$$

$$VPL_S = -I_S + \sum_{i=1}^{t_S} \frac{\left(CEV_i - C_{S(O\&M)_i}\right)}{(1 + WACC)^{t_S}} \tag{19}$$

Onde:

- VAEA: valor anual equivalente do projeto de infraestrutura aérea;
- VAES: valor anual equivalente do projeto de infraestrutura subterrânea;
- VPLA: valor presente líquido do projeto de infraestrutura aérea;
- VPLS: valor presente líquido do projeto de infraestrutura subterrânea; e
- WACC: *weighted average cost of capital* (custo médio ponderado de capital).

Assim, deve-se optar pelo valor anualizado equivalente maior, que provavelmente, seria o projeto de infraestrutura aéreo. Porém, deve-se considerar também os benefícios não quantificados das redes subterrâneas. Obviamente, a comparação que está sendo feita é referente a regiões que não possuem infraestrutura e onde se deseja construir do zero uma infraestrutura nova. Para regiões que já possuem um determinado tipo de infraestrutura e deseja-se trocar por outra, ainda devem-se considerar os custos referentes à remoção da infraestrutura antiga.

4.2 Estudo de caso e simulações

Com o objetivo de demonstrar como a viabilidade econômica do projeto de redes subterrâneas em relação às redes aéreas varia muito, de acordo com a região que se deseja implementar a infraestrutura, um estudo de caso é proposto.

O caso busca analisar dez regiões com diferentes indicadores como: números de consumidores, comprimento do enterramento, densidade de carga e indicadores de continuidade de energia como o DEC e FEC de cada região.

Ainda, para a determinação dos valores das compensações serão utilizados os valores dos indicadores de DEC e FEC apurados para cada região, assim como os valores de DEC e FEC limites.

A tabela 3 mostra as dez regiões estudadas e os indicadores de número de unidades consumidoras, área, comprimento do enterramento e densidade de carga.

TABELA 3

Unidades consumidoras, área e densidade de carga de algumas regiões

Região	Número de unidades consumidoras	Área (km^2)	Comprimento de enterramento (km)	Densidade de carga (MVA/km^2)	Densidade de carga (MVA/km)
R1	5.000	10	160	30	1,875
R2	30.000	15	240	100	6,25
R3	2.000	2	32	120	7,5
R4	3.444	15	240	2	0,125
R5	2.242	22	352	19	1,1875
R6	2.959	19	304	100	6,25
R7	4.323	14	224	39	2,4375
R8	3.908	30	480	82	5,125
R9	1.861	27	432	21	1,3125
R10	511	9	144	82	5,125

Elaboração dos autores.

A tabela 4 apresenta os valores de DEC e FEC apurados e os limites para as dez regiões analisadas e para as duas infraestruturas comparadas.

TABELA 4

DEC e FEC de algumas regiões

Região	DEC aéreo (h/mês)	DEC subterrâneo (h/mês)	DEC limite (h/mês)	FEC aéreo (interrupções/mês)	FEC subterrâneo (interrupções/mês)	FEC limite (interrupções/mês)
R1	7	2,1	5	3	0,9	5
R2	8	2,4	4	5	1,5	3
R3	9	2,7	5	6	1,8	4
R4	8	2,4	3	2	0,6	3
R5	1	0,3	6	8	2,4	4
R6	2	0,6	6	1	0,3	1
R7	10	3	3	8	2,4	4
R8	9	2,7	6	8	2,4	3
R9	8	2,4	6	5	1,5	2
R10	4	1,2	3	8	2,4	1

Elaboração dos autores.

Na tabela 5 estão os dados financeiros para a análise econômica de implantação das redes aéreas e subterrâneas nas dez regiões consideradas.

TABELA 5

Dados financeiros da distribuidora para a análise

Variável	Valor
T (R$/MWh)	900
EUSDMédio (R$)	70
kei	15
WACC	0,8% (ao mês)

Elaboração dos autores.

A tabela 6 apresenta os valores médios de Capex, Opex e vida útil para as infraestruturas aéreas e subterrâneas.

TABELA 6

Valores de Capex, Opex e vida útil

	Aéreo	Subterrâneo
Capex (MR$/km)	1	5
Opex (R$/km)	1.650	550
t (meses) – vida útil	360	480

Elaboração dos autores.

Uma vez que este estudo se preocupa mais em apresentar a metodologia econômica, os valores utilizados nas tabelas 3 a 6 são aproximados. Porém, sabe-se, conforme Puertas e Nogueira (2017), que nos centros urbanos de grandes metrópoles a densidade de carga pode atingir valores superiores a 200 MVA/km^2. Da mesma forma, conforme Sinapsis (2013), a redução do DEC pode a chegar a 95% e o WACC em torno de 0,6% (ao mês).

4.3 Análise de resultados

Conforme metodologia de análise econômico-financeira proposta ao longo deste texto, e utilizando-se os dados das tabelas de 3 a 6, os valores da economia de capital obtidos pela distribuidora de energia, mensurados por meio da implementação de uma rede subterrânea em comparação com a aérea, são apresentados na tabela 7. A representação é feita mediante a redução da energia não distribuída, e, consequentemente, a redução do custo com energia não distribuída, além da redução com as compensações pagas aos consumidores.

A redução nas compensações ocorre devido a uma redução nos indicadores de DEC e FEC decorrentes da implementação de uma rede com maior confiabilidade, como é o caso da rede subterrânea. Com essa economia, representada pela redução no custo da energia distribuída e redução nas compensações, chega-se aos CEVs com a implementação do enterramento para as dez regiões consideradas.

TABELA 7

Indicadores mensais de economia da distribuidora com a implementação de redes subterrâneas

Região	ΔEND (MVA)	ΔCEND (R$ milhões)	ΔCompDEC (R$ milhões)	ΔCompFEC (R$ milhões)	ΔCompTotal (R$ milhões)	CEV (R$ milhões)
R1	1.470	1,323	0,014383562	0	0,014384	1,337384
R2	8.400	7,56	0,17260274	0,086301	0,258904	7,818904
R3	1.512	1,3608	0,011506849	0,005753	0,01726	1,37806
R4	168	0,1512	0,024768493	0	0,024768	0,175968
R5	292,6	0,26334	0	0,012899	0,012899	0,276239
R6	2.660	2,394	0	0	0	2,394
R7	3.822	3,4398	0,043526096	0,024872	0,068398	3,508198
R8	15.498	13,9482	0,016863288	0,028105	0,044969	13,99317
R9	3.175,2	2,85768	0,005353562	0,00803	0,013384	2,871064
R10	2.066,4	1,85976	0,000735	0,003381	0,004116	1,863876

Elaboração dos autores.

Assim, considerando-se os CEVs contidos na tabela 7, os valores de Opex e Capex calculados na tabela 8, chega-se aos fluxos de caixa (FC) dos projetos de infraestrutura aérea e subterrânea. Por meio desses fluxos de caixa e utilizando-se da vida útil e WACC contidos nas tabelas 5 e 6, chega-se aos valores de VPL e VAE para as duas infraestruturas consideradas nas dez regiões analisadas conforme a tabela 8.

TABELA 8

Comparação da viabilidade econômica entre redes aéreas e subterrâneas

(Em R$ milhões)

Região	Capex		Opex		FC		VPL		VAE	
	Aéreo	Subterrâneo	Aéreo	Subterrâneo	Aéreo	Subterrâneo	Aéreo	Subterrâneo	Aéreo	Subterrâneo
R1	-160	-800	-0,264	-0,088	-0,264	1,2494	-191,13	-647,24	-20,27	-66,19
R2	-240	-1200	-0,396	-0,132	-0,396	7,6869	-286,69	-260,11	-30,41	-26,60
R3	-32	-160	-0,0528	-0,0176	-0,0528	1,3605	-38,23	6,35	-4,05	0,65
R4	-240	-1200	-0,396	-0,132	-0,396	0,0440	-286,69	-1194,62	-30,41	-122,16
R5	-352	-1760	-0,5808	-0,1936	-0,5808	0,0826	-420,48	-1749,90	-44,60	-178,94
R6	-304	-1520	-0,5016	-0,1672	-0,5016	2,2268	-363,14	-1247,72	-38,52	-127,59
R7	-224	-1120	-0,3969	-0,1232	-0,3696	3,3850	-267,58	-706,11	-28,38	-72,21
R8	-480	-2400	-0,792	-0,264	-0,792	13,7292	-573,38	-721,31	-60,82	-73,76
R9	-432	-2160	-0,7128	-0,2376	-0,7128	2,6335	-516,04	-1838,00	-54,74	-187,95
R10	-144	-720	-0,2376	-0,0792	-0,2376	1,7847	-172,01	-501,78	-18,24	-51,31

Elaboração dos autores.

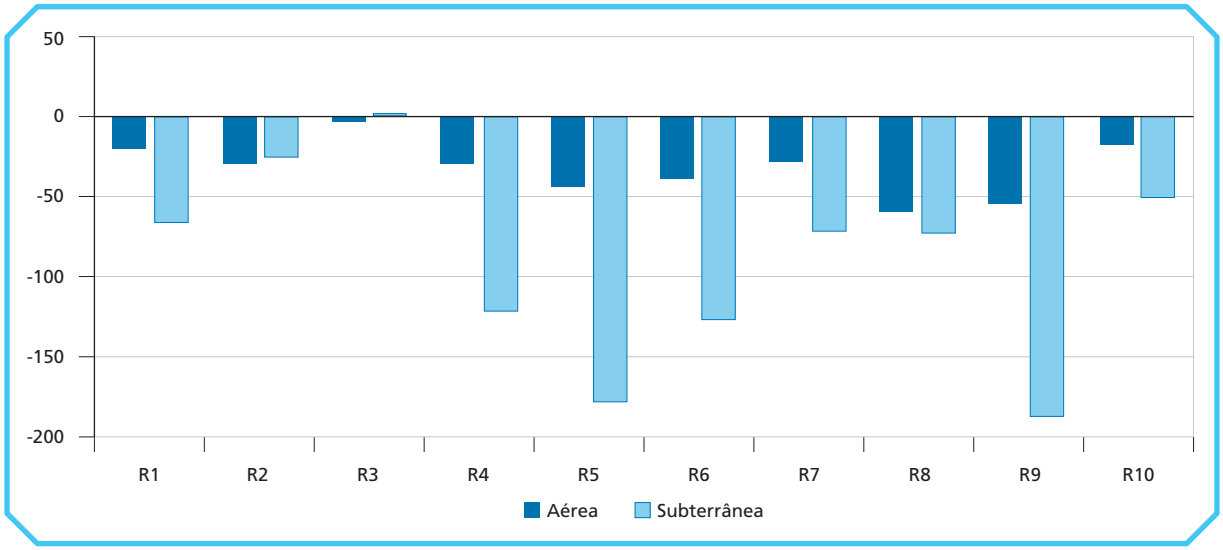
Analisando a tabela 8, sob a ótica do VAE, que é o método mais apropriado para comparação de projetos com vidas úteis diferentes, percebe-se a variabilidade da viabilidade econômica das redes subterrâneas em relação às aéreas para as diferentes regiões analisadas. Verifica-se, ainda, que as redes subterrâneas apresentaram viabilidade econômica superior somente em duas regiões (R2 e R3), caracterizadas por altas densidades de carga e alto valor de DEC.

O gráfico 2 ilustra a comparação da implementação das redes aéreas e das redes subterrâneas, nas dez regiões analisadas, por meio do VAE. Verifica-se que para as regiões R4, R5, R6 e R9 a implementação das redes subterrâneas está economicamente longe de ocorrer. Esse fato pode ser explicado pelas baixas densidades de carga nas regiões R4, R5 e R9 e pelo baixo DEC na região R6.

GRÁFICO 2

Comparação entre projetos de redes aéreas e subterrâneas através do VAE nas regiões analisadas

(Em R$ milhões)



Elaboração dos autores.

Assim, os resultados das tabelas 7 e 18 e da figura 15 podem ser sintetizados conforme listado a seguir.

1) A viabilidade econômica de um projeto de rede aérea em relação à rede subterrânea varia em relação à região de implantação. Ou seja, os diferentes valores de carga e indicadores de continuidade de energia contidos nas regiões analisados mostram a diferença da viabilidade econômica da implantação do enterramento nessas regiões.

2) As regiões 2 e 3, que mostraram ser regiões economicamente viáveis para a implementação do enterramento, tem uma altíssima densidade de carga e valores altos de DEC.

3) A região 6, que apresenta uma densidade de carga igual à região 2, apresentou uma grande inviabilidade econômica para implementação da rede subterrânea em função do seu baixo DEC.

4) A região 8 apresenta uma inviabilidade econômica por parte da infraestrutura subterrânea. Apesar de a diferença dessa inviabilidade ser pequena em relação à aérea, talvez valesse a pena a implantação da rede subterrânea em razão das diversas externalidades não quantificáveis dos benefícios da rede subterrânea em relação à aérea neste trabalho.

5) Da mesma forma, sabe-se que a tendência futura é de aumento de carga no geral e que o aumento da carga favorece ainda mais a implementação do enterramento. Um exemplo é o da penetração de veículos elétricos na rede, o que representará uma grande carga ao sistema. Assim, as regiões com estações carregadoras de veículos elétricos experimentarão um grande incremento na sua densidade de carga, podendo favorecer a infraestrutura subterrânea.

Por meio do estudo de caso apresentado neste trabalho, verificou-se que a viabilidade econômica de um projeto de rede subterrânea em relação à rede aérea varia muito, dependendo da região onde se pretende implantar a infraestrutura. Constatou-se que regiões com alta densidade de carga e alto DEC são as mais atrativas economicamente para se implantar redes subterrâneas de distribuição de energia elétrica.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ideia de utilização do enterramento como alternativa para a solução ou mitigação dos problemas do compartilhamento do poste elétrico pode esbarrar em questões regulatórias e, principalmente, em questões econômicas. O alto valor do Capex em relação às redes aéreas inibe o investimento em larga escala para esse tipo de infraestrutura. Embora o alto valor de Capex não incentive a implementação do enterramento, muitos países no mundo estão mais avançados que o Brasil na implantação desse tipo de rede.

Como foi visto ao longo deste trabalho, os benefícios das redes subterrâneas em relação às redes aéreas são inúmeros, atingindo diversos agentes, que teriam ganhos com esse tipo de infraestrutura, como os setores de energia e telecomunicações, municipalidades e consumidores de energia, entre outros.

A partir do *benchmarking* internacional, identificamos algumas práticas adotadas pelos países analisados ao longo do processo de enterramento das redes de serviços de utilidade pública e geraram resultados satisfatórios, as quais, por isso, devem ser observadas em detalhe.

Em primeiro lugar, a legislação e os regulamentos podem estimular o compartilhamento de infraestrutura, portanto, são de suma importância para o enterramento das redes, principalmente para acelerar o processo de implementação. Entretanto, caso sejam estabelecidas, as metas devem ser estipuladas de forma realista, a fim de evitar o desestímulo, uma vez que metas exageradas podem gerar custos proibitivos, ruptura de prazos já estabelecidos e falta de recursos para outros dos setores.

Outro aspecto que ajuda a acelerar o processo de enterramento é a diversificação das fontes de recursos para esse investimento. Por exemplo, a depender da área onde a obra será realizada,

é possível a utilização de verbas de proteção de patrimônio histórico ou de *royalties* de outras atividades econômicas. Além disso, dividir os custos do enterramento considerando os benefícios que esse empreendimento poderá trazer para cada setor tende a estimular o investimento, especialmente daqueles que não terão tanto retorno. Ou seja, encontrar uma maneira de ponderar a relação risco e retorno do investimento é um de modo a atrair novas fontes de recursos.

Ainda que haja legislação e regulamentos bem definidos e uma diversificação de recursos, a magnitude do investimento necessário para o enterramento é elevada e muitas vezes proibitiva. Tendo em vista esse dificultador financeiro, devem-se estabelecer critérios para priorizar as áreas de enterramento. A partir de quesitos técnicos, financeiros e comunitários, o investimento torna-se mais sustentável. Além disso, em busca de reduzir custos, inovações técnicas devem ser estudadas.

Considerando que as fontes de recursos são diversificadas e que a busca por redução de custos estará sempre presente no processo de enterramento, é importante que se tenha uma gestão unificada e que haja uma governança do uso do subsolo urbano. A gestão unificada seria responsável pela infraestrutura compartilhada, de modo a gerir pela qualidade do uso e manutenção da infraestrutura, bem como para otimizar os custos de manutenção e de novos investimentos. A governança do subsolo, por sua vez, seria um braço dessa gestão unificada, no sentido de mapear galerias e dutos existentes, construir e acompanhar um sistema de cadastro dos usuários da infraestrutura, entre outros aspectos gerenciais.

Além disso, as iniciativas de requalificação urbana vêm ganhando destaque ao incorporar outros agentes da sociedade nessa decisão, envolvendo diversos agentes interessados, tais como o comércio e condomínios.

Considerando os prós e contras, percebemos que o enterramento não deveria ser a única solução para os conflitos oriundos do compartilhamento de postes. Essa alternativa deveria ser considerada em áreas com grande densidade populacional, onde, de fato, o compartilhamento de postes é usado inadequadamente pelos usuários e há alta demanda por conexões. Ademais, essa decisão deveria ser ponderada pela capacidade de pagamento dos moradores e empresários da região, tendo em vista que esse investimento pode ser repassado aos usuários dos serviços finais, gerando perda de bem-estar.

Vale destacar ainda que uma análise urbanística, econômica e técnica deve ser feita em conjunto com as partes para que não haja má alocação dos recursos, sejam eles públicos ou privados. Por fim, caso adotada, uma regulação completa e bem definida deve ser estimulada para orientar os agentes envolvidos nessa transição, a fim de evitar novos conflitos e a consequente perda de eficiência.

REFERÊNCIAS

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional (PRODIST)**: módulo 8 – qualidade da energia elétrica. Brasília: Aneel, 2021.

ARANGO, L. G. *et al*. Estudo econômico da melhoria da qualidade de redes elétricas. *In*: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA, 12., 2017, Curitiba, Paraná. **Anais**... Curitiba: [s.n.], 2017.

BAGGINI, A. B. I. **Handbook of power quality**. England: John Wiley and Sons Ltd., 2008.

BOLLEN, M. H. J. **Understanding power quality problems**: voltage sags and interruptions. New York: IEEE Press Series on Power Engineering, 2000.

BRASIL, H. G. **Avaliação moderna de investimentos**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

COPEL – COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **Utilização e aplicação de redes de distribuição subterrâneas**: guia para os municípios e empreendedores. Curitiba: Copel, 2010. Disponível em: <https://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/redes_de_distribuicao_subterraneas/$FILE/RedesDeDistribuicaoSubterraneas-5.pdf>.

CPQD – CENTRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM TELECOMUNICAÇÕES. ***Benchmarking* internacional**: redes aéreas e subterrâneas. Campinas: CPqD, [s.d.].

DUGAN, R. C. *et al*. **Electrical power systems quality**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 2003.

LMDM. **Estudo**: a transformação das redes de distribuição de energia aéreas em subterrâneas. Curitiba: LMDM, 2014.

MARTINS, B. de A. *et al*. **Avaliação dos conflitos do compartilhamento de postes entre os setores de distribuição de energia e telecomunicações**. Brasília: Ipea, 2021. Versão preliminar.

PARK, C. S.; SHARP-BETTE, G. P. **Advanced engineering economics**. New York: John Wiley and Sons, 1990.

PUERTAS, H.; NOGUEIRA, C. A. M. As dimensões da oferta: sistemas de distribuição de energia elétrica. **Revista do Serviço Público**, Brasília, v. 43, p. 49-53, 2017.

RIGONI, M. B. **Estudo comparativo de configurações de redes de distribuição de energia elétrica**. Porto Alegre: UFRGS, 2016.

SINAPSIS. **Aspectos técnicos**: padrões construtivos, qualidade, planejamento e critérios para tomada de decisão. Trabalho apresentado no Seminário Sistemas Subterrâneos de Distribuição: Aspectos Regulatórios, Brasília, set. 2013. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/zip/Palestra_2_SINAPSIS.zip>.

SINDITELEBRASIL. **Estudo do enterramento no Rio de Janeiro**: relatório 01. [s.l.]: [s.n.], 7 nov. 2019.

Ipea – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

EDITORIAL

Chefe do Editorial
Reginaldo da Silva Domingos

Revisão
Bruna Oliveira Ranquine da Rocha
Carlos Eduardo Gonçalves de Melo
Elaine Oliveira Couto
Lis Silva Hall
Mariana Silva de Lima
Marlon Magno Abreu de Carvalho
Vivian Barros Volotão Santos
Débora Mello Lopes (estagiária)
Matheus Tojeiro da Silva (estagiário)
Rebeca Raimundo Cardoso dos Santos (estagiária)

Editoração
Aline Cristine Torres da Silva Martins
Mayana Mendes de Mattos
Mayara Barros da Mota (estagiária)

Capa
Aline Cristine Torres da Silva Martins

Projeto Gráfico
Aline Cristine Torres da Silva Martins

The manuscripts in languages other than Portuguese published herein have not been proofread.

Livraria Ipea
SBS – Quadra 1 – Bloco J – Ed. BNDES, Térreo
70076-900 – Brasília – DF
Fone: (61) 2026-5336
Correio eletrônico: livraria@ipea.gov.br

Missão do Ipea

Aprimorar as políticas públicas essenciais ao desenvolvimento brasileiro por meio da produção e disseminação de conhecimentos e da assessoria ao Estado nas suas decisões estratégicas.

ISSN 1415-4765

ipea Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

MINISTÉRIO DA ECONOMIA

PÁTRIA AMADA BRASIL GOVERNO FEDERAL