

Jean Eduardo Costanzi	CELESC Distribuição S.A.	jeanec@celesc.com.br
Alden Uehara Antunes	Daimon Engenharia e Sistemas	alden@daimon.com.br
Anderson Hitoshi Uyekita	Daimon Engenharia e Sistemas	anderson.uyekita@daimon.com.br
André Meffe	Daimon Engenharia e Sistemas	andre.meffe@daimon.com.br
Carlos César Barioni de Oliveira	Daimon Engenharia e Sistemas	barioni@daimon.com.br
Dário Takahata	Daimon Engenharia e Sistemas	dario@daimon.com.br
Francisco José Seleiro Pimentel	Centrum Engenharia e Consultoria Ltda	centrum.engenharia@gmail.com
José Celito Moraes Córdova	Centrum Engenharia e Consultoria Ltda	centrum.engenharia@gmail.com
Lúcio Tadeu Prazeres	Centrum Engenharia e Consultoria Ltda	centrum.engenharia@gmail.com
Luiz Alberto de Miranda	Centrum Engenharia e Consultoria Ltda	centrum.engenharia@gmail.com
Amilton Freitas Cardoso Júnior	CELESC Distribuição S.A.	amiltonfcj@celesc.com.br
Márcio Luciano de Vargas Godoy	CELESC Distribuição S.A.	marciolvg@celesc.com.br

**Planejamento de Curto e Médio Prazo do Sistema de Distribuição da Média Tensão da Regional CELESC de Joinville**

**Palavras-chave**

**Planejamento**

**SARIMA**

**Qualidade de Energia**

**Mercado**

**Resumo**

O presente artigo apresenta a metodologia utilizada pelo Consórcio Daimon-Centrum no estudo de Planejamento do Sistema de Distribuição de Média Tensão da Regional Joinville da Celesc Distribuição S.A.. A consultoria elaborou o Planejamento de curto e médio prazo, cujos resultados no curto prazo foram ações de caráter operacional e investimentos imediatos; e no médio prazo, de medidas de expansão do SDMT. As simulações dos cenários dos horizontes de curto e médio prazos foram realizadas através da ferramenta de cálculo de fluxo de potência Interplan®, e as taxas de crescimento do mercado atendido pelas subestações foram estimadas pela série temporal do carregamento máximo das mesmas, através do método de previsão SARIMA. Ressalta-se que cada cenário foi avaliado, em conformidade com o Módulo 8 do PRODIST. Para o

**dimensionamento do SDMT, utilizaram-se dados de medição da demanda dos consumidores de média tensão (horo-sazonal e convencional). Portanto, procurou-se simular o sistema elétrico da forma mais fidedigna possível, com vistas ao dimensionamento do mesmo ao longo do horizonte de estudo. Adicionalmente, foram utilizadas medições nas saídas dos alimentadores, para correção dos valores de demanda de cada alimentador.**

## 1. Introdução

A Regional Joinville é composta pelos municípios de Joinville, Araquari, Garuva, Itapoá, São Francisco do Sul e Balneário Barra do Sul.

Joinville está localizada na região Sul do País, município polo da microrregião nordeste do Estado de Santa Catarina, é a maior cidade catarinense, responsável por cerca de 20% das exportações do Estado. É também o 3º polo industrial da região Sul, com volume de receitas geradas aos cofres públicos inferior apenas às capitais Porto Alegre (RS) e Curitiba (PR). Figura entre os quinze maiores arrecadadores de tributos e taxas municipais, estaduais e federais do país. A cidade concentra grande parte da atividade econômica na indústria com destaque para os setores metalmeccânico, têxtil, plástico, metalúrgico, químico e farmacêutico. O Produto Interno Bruto de Joinville também é um dos maiores do país, em torno de R\$ 18.797.540.000,00 por ano [1].

A chegada de fábricas de grande porte na Regional Joinville foi intensificada pelos atrativos fiscais, pela abertura de condomínios industriais, pela sinergia e cooperação industrial, e também pela área portuária de São Francisco do Sul e Itapoá, o que resultou numa crescente expansão do mercado da região nos últimos anos.

Devido aos altos índices de crescimento da região nos últimos anos, e por outro lado com o aumento do rigor dos parâmetros de conformidade e continuidade de fornecimento estabelecidos pela ANEEL, observou-se a necessidade da elaboração de um amplo e detalhado estudo de Planejamento do Sistema de Distribuição de Média Tensão para o atendimento adequado aos consumidores.

O objetivo da Consultoria foi o de prover à área de Planejamento da Regional Joinville, de relatórios detalhados sobre o desempenho da rede no curto e no médio prazo, bem como de um Plano de Obras e de Ações para otimizar a performance da rede existente e atender ao crescimento do mercado no curto e no médio prazo.

Também, em face da perspectiva de esgotamento do sistema de 69 kV, particularmente da região central de Joinville e da existência de um sistema robusto de 138 kV, adotou-se a diretriz de orientar o estudo no sentido de aliviar o carregamento do sistema de 69 kV mediante transferência de carga para o sistema de 138 kV.

## 2. Desenvolvimento

O estudo da Regional Joinville foi dividido em 5 (cinco) etapas: Aquisição e Edição de Dados de Topologia, Diagnóstico do SDMT Atual, Avaliação do Mercado, Planejamento do SDMT e Estudo Técnico-Econômico. O Fluxograma da Figura 1 apresenta a sequência das etapas.



Figura 1 – Fluxograma da execução das Etapas

A seguir cada Etapa deste fluxograma será detalhada para uma melhor explanação acerca de todo o processo de Planejamento.

## 2.1. Aquisição e Edição dos Dados de Topologia

A ferramenta de Planejamento Interplan® está implementada na Regional Joinville e foi utilizada para a aquisição e edição dos dados de topologia, sendo a base de dados do mês de março de 2013 adotada como rede de referência do Estudo.

Embora a base de dados já estivesse adequada para um estudo convencional, foi necessária, para o fim de um estudo mais aprimorado, a edição de algumas informações da rede importada de março de 2013, tais como: i) inserção de novos pedidos de carga (novos clientes da Média Tensão) e pedidos de aumento de carga de consumidores MT, já em carteira na Celesc; ii) inserção dos valores das leituras individuais de demandas por patamar dos consumidores de MT; iii) correção de demanda na saída do alimentador pelo máximo carregamento anual de cada alimentador; e iv) inserção de novas Subestações e novos alimentadores em fase de implantação durante o ano base.

As edições foram necessárias para a adequação, tanto quanto possível, da rede importada de março 2013 para a rede base de estudo, que incorpora as alterações em curso no ano base (2013).

O fluxo de potência foi calculado para as máximas demandas anuais dos alimentadores, que na grande maioria se concentraram nos meses de dezembro/12 e fevereiro/13.

A Figura 2 apresenta as etapas para a aquisição, edição e correção das demandas da rede importada de março de 2013.



Figura 2 – Detalhamento da Etapa de Aquisição e Edição dos dados de topologia

Ao final das edições obteve-se a rede elétrica atualizada que foi utilizada como base para os estudos.

## 2.2. Diagnóstico do SDMT Atual

O diagnóstico do SDMT foi feito utilizando-se a rede elétrica de março de 2013 e adotando-se os carregamentos máximos anuais de cada alimentador. Os resultados deste diagnóstico foram necessários para identificação dos locais da rede onde haviam transgressões dos critérios de nível de tensão e carregamento.

### 2.2.1. Carregamento Máximo dos Alimentadores

Para o dimensionamento do sistema foram utilizados os meses de máximo carregamento dos alimentadores para a correção de demanda. O histórico de máximos utilizados para o dimensionamento do sistema compreende os meses de março de 2012 a fevereiro de 2013.

A Figura 3 a seguir mostra que há uma não coincidência entre os máximos dos alimentadores. Além disso, foi observada uma forte sazonalidade nos alimentadores litorâneos devido a predominância de consumidores veranistas.

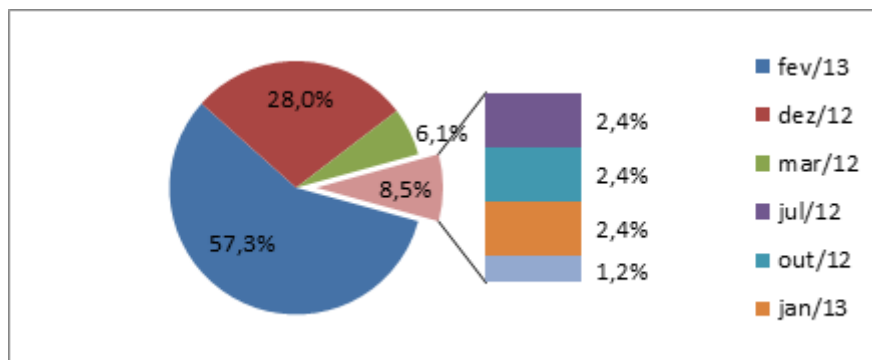


Figura 3 – Distribuição das correntes máximas

### 2.2.2. Conformidade e Carregamento da Rede de Energia Elétrica da Rede Base

Baseados nos meses de referência para a correção de demanda apresentado no item 2.2.1. e na rede elétrica editada do item 2.1., realizou-se o estudo de conformidade seguindo as diretrizes do Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica [2]. O resultado do fluxo de potência pôde determinar os locais da rede que transgrediam tais diretrizes. A Figura 4 apresenta a distribuição das barras (nível de tensão) e dos trechos (carregamento) de acordo com os critérios do Módulo 8 do PRODIST.

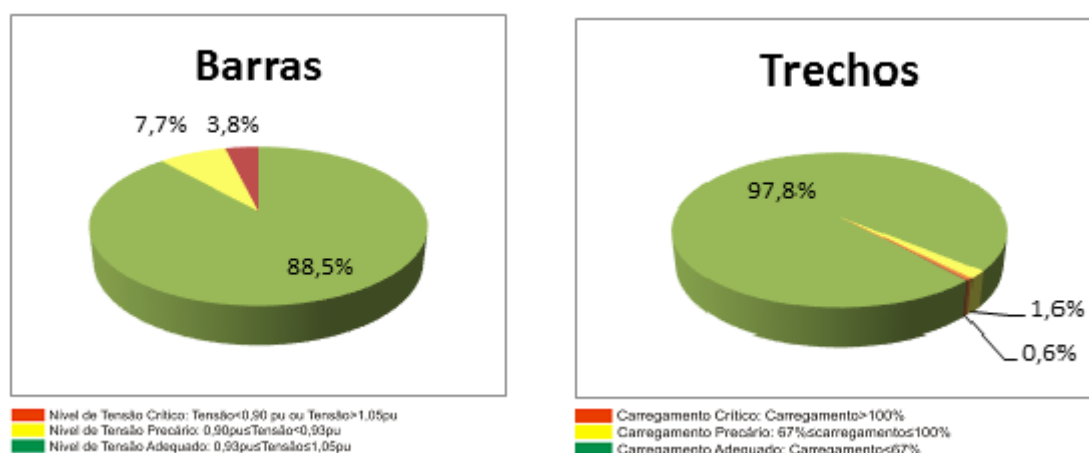


Figura 4 – a) Distribuição do diagnóstico das Barras da Regional Joinville; b) Distribuição do diagnóstico dos trechos da Regional Joinville.

### 2.2.3. Padrão Construtivo

Embora os trechos construídos mais recentemente do sistema de MT urbano da Regional Joinville sejam formados por redes aéreas protegidas do tipo compacta, a grande maioria é formada exclusivamente por redes aéreas trifásicas, compostas por cabos de alumínio ou cobre nu. Este grande conjunto de redes aéreas com condutores nus são os responsáveis pela dificuldade que a Agência Regional vem enfrentando para atender aos requisitos de continuidade exigidos pela ANEEL, e que se tornam mais rigorosos a cada ano. A Tabela 1 apresenta um resumo dos quantitativos da rede da Regional Joinville.

Tabela 1 – Quantitativos da rede de MT da Regional Joinville

Quantitativo de Rede MT		
	Cabo Predominante	Participação (%)
Tronco	336,4 MCM CA	67,9
Ramal	4 AWG CAA	69,1

Observa-se da Tabela 1 que o cabo predominante no tronco da rede é o 336,4 MCM CA, correspondendo a 67,9% do total. No caso dos ramais, destaca-se o uso do cabo 4 AWG CAA, com participação de 69,1% do total. As redes de distribuição rurais caracterizam-se por serem predominantemente monofásicas constituídas por cabos tipo 4 AWG CAA. Adicionalmente, o fio de cobre 6 AWG está presente na grande maioria dos alimentadores da Regional Joinville, particularmente em regiões litorâneas, como é o caso da SE Ubatuba, onde este condutor representa 22% do total de condutores dos alimentadores, tornando o sistema mais vulnerável a ocorrências associadas a falhas e rompimento em condutores.

### 2.3. Previsão de Mercado

Com o intuito de tornar o estudo de planejamento mais aderente às variações do mercado foi adotado o modelo preditivo através da série histórica do carregamento máximo de cada subestação. Esse método possibilitou a previsão do crescimento do mercado no horizonte de curto e médio prazo.

Essa abordagem só visa o crescimento vertical das cargas (aumento de carga dos consumidores já conectados à rede elétrica). Desta forma, o crescimento horizontal (novas cargas) não foi considerado por este método preditivo, excetuando-se os novos pedidos de carga de média tensão relevantes, já existentes em carteira na concessionária.

#### 2.3.1. Método de Box-Jenkins

O método preditivo com base na série histórica é conhecido como método de Box-Jenkins [3] ou método SARIMA. Esse método reproduz no futuro, situações ocorridas no passado, utilizando-se do conceito de médias móveis, autocorrelações e da sazonalidade da série. A Tabela 2 apresenta um histograma das taxas de crescimento das subestações calculadas por este método.

Tabela 2a – Histograma das Taxas de Crescimento		Tabela 2b – Média e Desvio Padrão das Taxas de Crescimento dos Alimentadores	
Faixa de Crescimento [%]	Frequência	Média	Desvio Padrão
0-3	2	6,45	2,67
03/jun	5		
06/set	6		
09/dez	3		

As taxas da Tabela 2 serviram de insumo para o cálculo de fluxo de potência para os cenários de curto e médio prazo do item 2.4..

### 2.4. Planejamento

O estudo de Planejamento da Regional Joinville foi realizado com um horizonte de 5 anos, com o primeiro ano fixado em 2014. Com base nas taxas de crescimento estabelecidas no item 2.3.1., foram simuladas as condições de carregamento

e tensão nos anos futuros. O Planejamento foi dividido em curto prazo que abrange os dois primeiros anos de estudo (2014 e 2015) e o Planejamento de médio prazo que abrange os últimos três anos (2016, 2017 e 2018).

Ao longo dos dois períodos de Planejamento, foram propostas ações e obras corretivas para o atendimento aos critérios de conformidade, conforme ilustrado na Figura 5.

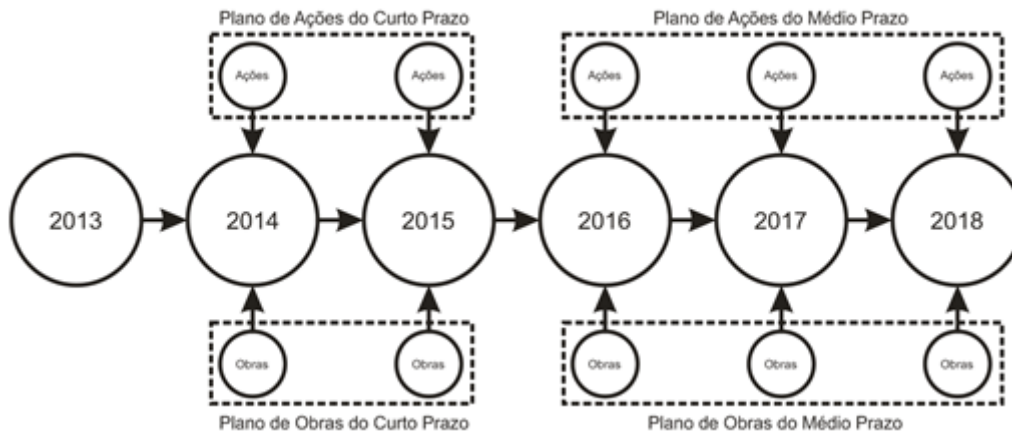


Figura 5 – Fluxograma da execução do Planejamento

#### 2.4.1. Propostas corretivas

As propostas corretivas foram divididas em Ações e Obras que podem ser exemplificadas como:

- a) Ações: Transferência de carga para alimentadores vizinhos, realocação de equipamentos de rede, alteração de ponto de conexão, etc..
- b) Obras: Substituição de condutores, extensão de rede, instalação de banco de capacitores, instalação de banco regulador de tensão, implantação de novo alimentador, implantação de nova subestação e ampliação de capacidade de transformação em subestações.

O conjunto de Ações e Obras objetiva o atendimento aos critérios de conformidade de tensão e carregamento.

#### 2.4.2. Planejamento de Curto Prazo

O Planejamento de curto prazo priorizou o atendimento aos critérios de conformidade a partir da proposição de manobras de carga entre alimentadores adjacentes, quando possível, elaborando-se assim, o Plano de Ações. Ressalte-se que a proposição de obras no horizonte de curto prazo só foi aventada devido a impossibilidade de atendimento aos critérios de conformidade por intermédio do Plano de Ações. Para estas situações, foram elaborados projetos executivos de obras corretivas, os quais compõem o Plano de Obras de curto prazo e cujos custos de execução foram computados para a posterior avaliação econômico-financeira.

#### 2.4.3. Planejamento de Médio Prazo

Similarmente ao Planejamento de curto prazo, o Planejamento de médio prazo objetivou o atendimento à expansão do mercado projetado da Regional Joinville até o horizonte de 2018, mantendo-se os mesmos critérios de qualidade estabelecidos no curto prazo [2].

A particularidade para o médio prazo foi o uso de custos modulares para estimação do custo das obras, visto que para estas não foram elaborados os projetos executivos.

#### 2.4.4. Resumo das Obras e Ações

A Tabela 3 apresenta o resumo das obras e das ações propostas no Planejamento de curto e médio prazo da rede de média tensão da Regional Joinville.

Tabela 3 – Resumo de Obras e Ações do Planejamento de Curto e Médio Prazo

Resumo de Obras e Ações em Redes						
Planejamento	Rede (km)		Instalação		Realocação	
	Extensão de Rede	Recondutoramento	BC	RT	BC	RT
Curto Prazo	36,7	29,7	10	9	0	4
Médio Prazo	17,6	28,4	11	2	5	4

A Tabela 4 apresenta o resumo das obras internas em subestações propostas no Planejamento de curto e médio prazo.

Tabela 4 – Resumo de Obras e Ações do Planejamento de Curto e Médio Prazo

Resumo de Obras e Ações em Subestações			
Planejamento	Nova Subestação	Novo Alimentador	Troca de Transformador de Força
Curto Prazo	2	7	0
Médio Prazo	2	8	2

A Figura 6 apresenta a participação anual dos investimentos, bem como a participação relativa no curto e médio prazo.

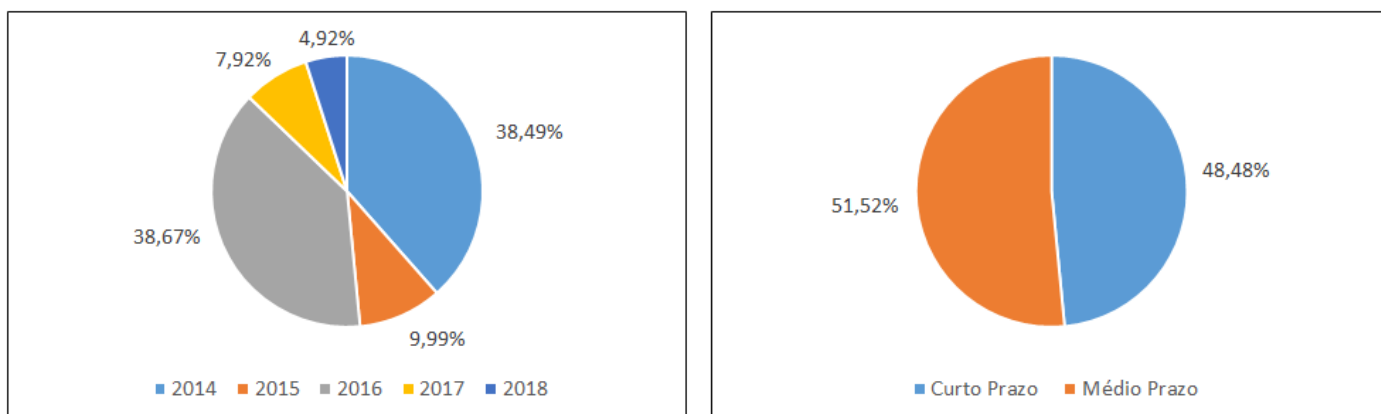


Figura 6 – a) Participação Anual nos Investimentos; b) Participação dos Planejamentos nos Investimentos.

## 2.5. Estudo Técnico-econômico

O estudo técnico-econômico analisou os benefícios gerados pelos investimentos de rede e a viabilidade econômica das soluções propostas. Este estudo está dividido em ganhos técnicos e regulatórios.

### 2.5.1. Investimentos

Os investimentos previstos para a implementação das ações de Planejamento (item 2.4.) totalizam cerca de R\$ 75 milhões. A Tabela 5 apresenta os valores anuais de investimentos.

Tabela 5 – Investimentos por ano

<b>Investimentos por Ano (Milhões de R\$)</b>						
<b>Ano</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>Total</b>
<b>Investimento (Milhões de R\$)</b>	<b>29,16</b>	<b>7,57</b>	<b>29,30</b>	<b>6,00</b>	<b>3,73</b>	<b>75,76</b>

O item 2.5.2. a seguir, analisa os benefícios técnicos e o item 2.5.3. analisa os ganhos regulatórios destes investimentos.

#### 2.5.2. Benefícios Técnicos

Os ganhos técnicos são consequência dos investimentos na rede elétrica e foram calculados a partir dos relatórios gerados pelo Interplan®. São divididos em ganho decorrente da Redução de Perda de Energia, Redução de Perda de Demanda e Ganho de Mercado.

a) Redução de Perda de Energia: É consequência do aumento da eficiência da rede elétrica, oriunda da diminuição do carregamento dos condutores, diminuição do comprimento dos alimentadores, utilização de condutores mais eficientes, etc.. A Tabela 6 apresenta os ganhos pela redução de perdas ao longo do período de Planejamento de Curto e Médio Prazo.

Tabela 6 – Perda de Energia da Regional Joinville

<b>Perda de Energia [MWh/ano]</b>			
<b>Ano</b>	<b>Rede Planejada</b>	<b>Referência</b>	<b>Redução</b>
2014	34.974	51.453	16.479
2015	36.116	58.559	22.443
2016	36.273	67.203	30.930
2017	38.664	77.566	38.903
2018	43.045	89.948	46.903

b) Redução de Perda de Demanda: É a diminuição da demanda ativa requerida pela fonte, que pode ser mitigada da mesma forma que a Perda de Energia. A Tabela 7 apresenta os ganhos pela redução de perda de demanda ao longo do período de Planejamento de Curto e Médio Prazo.

Tabela 7 – Perda de Demanda da Regional Joinville



<b>Perda de Demanda [kW]</b>			
Ano	Rede Planejada	Referência	Redução
2014	8.362	12.095	3.733
2015	8.904	14.052	5.148
2016	9.068	16.565	7.497
2017	9.710	19.357	9.647
2018	10.881	23.075	12.193

c) Ganho de Mercado: É consequência do aumento de mercado decorrente da melhoria do nível de tensão, após a realização dos investimentos. Para fins desta análise, este benefício foi contabilizado somente no primeiro ano do investimento, o que corresponde em 2014, a um ganho de 18.141 MWh.

Os benefícios técnicos acima apurados proporcionarão os ganhos financeiros apresentados na Tabela 8, considerando a vida útil média dos ativos elétricos objeto dos investimentos que estão propostos no Plano de Ações e Obras.

Tabela 8 – Benefícios Técnicos em R\$ Mil (VPL)

<b>Benefícios Técnicos em R\$ Mil (VPL) durante a vida útil dos Ativos Elétricos</b>			
Redução de Perda de Energia	Aumento de Mercado	Redução de Perda de Demanda	Benefício Técnico Total
55.428	1.533	16.886	73.848

### 2.5.3. Remuneração dos Investimentos

Corresponde a remuneração do capital investido e a quota de reintegração em consequência da depreciação dos ativos elétricos.

a) Remuneração do Capital Investido: É a remuneração do investimento realizado na rede elétrica. Essa remuneração varia conforme o WACC [4], estabelecido no ano da revisão tarifária periódica.

b) Quota de Reintegração Regulatória: Corresponde a depreciação dos ativos elétricos da rede, objetivando a reposição dos mesmos ao final da vida útil.

A Tabela 9 apresenta a remuneração dos investimentos que estão propostos no Plano de Ações e Obras durante o período de vida útil dos ativos elétricos que serão aplicados na rede.

Tabela 9 – Remuneração dos Investimentos em R\$ Mil (VPL)

<b>Benefícios Técnicos em R\$ Mil (VPL) durante a vida útil dos Ativos Elétricos</b>		
Remuneração do Capital	Quota de Reintegração	Total da Remuneração dos Investimentos
29.666	18.403	48.069

### 2.5.4. Análise Econômica

Para realizar a análise econômica deve-se considerar o total dos investimentos que serão realizados ao longo dos cinco anos (2014 a 2018), o total dos ganhos devido aos benefícios técnicos e o total da remuneração dos investimentos, todos trazidos a valor presente.

A Tabela 10 apresenta o resumo destes montantes.

Tabela 10 – Resumo dos Montantes em R\$ Mil (VPL)

<b>Resumo dos Montantes em R\$ Mil (VPL)</b>		
<b>Investimentos</b>	<b>Benefícios Técnicos</b>	<b>Remuneração dos Investimentos</b>
<b>65.869</b>	<b>73.848</b>	<b>48.069</b>

Com base nos montantes apresentados resumidamente na Tabela 10, pode-se concluir que o conjunto de obras e ações propostas resulta em uma TIR de 22,6%, em uma relação de Benefício/Custo de 1,85 e *Payback* no oitavo ano (2022).

Destaca-se que não foram considerados nesta análise outros benefícios advindos da melhoria da qualidade, que refletem na redução de custos operacionais e de pagamento de compensação financeira por transgressão de indicadores de continuidade individuais e de conformidade, que melhorariam ainda mais os resultados econômicos das Ações e Investimentos propostos.

### 3. Conclusões

O trabalho de Consultoria apresentou uma abordagem inovadora na avaliação do SDMT da Regional Joinville, incorporando dados como medições de cada consumidor A4 (horo-sazonal e convencional), por patamar (madrugada, manhã, tarde e noite), para efeito de simulação de fluxo de potência; e também da utilização do método SARIMA para se estimar a taxa de crescimento do mercado atendido pelas subestações e alimentadores da Regional Joinville, para o horizonte de cinco anos. Também apresentou uma análise econômica dos investimentos realizados, levando em consideração não só os benefícios técnicos para o sistema elétrico, como também o efeito econômico dos investimentos na base de ativos.

Destaca-se, por fim, que um trabalho com o grau de detalhamento e acuidade como o que foi realizado, proporciona uma visão sistêmica aos gestores, possibilitando à Celesc se antecipar aos estrangulamentos previstos do sistema em tempo de evoluir a qualidade do fornecimento de energia no compasso das metas estabelecidas pelo Regulador e a capacidade do sistema no ritmo demandado pelo mercado.

### 4. Referências bibliográficas

- [1] <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=420910&idtema=125&search=santa-catarina|joinville|produto-interno-bruto-dos-municipios-2011>
- [2] Resolução Normativa nº 345, de 16 de dezembro de 2008 da ANEEL, e revisões subsequentes.
- [3] G. E. Box e G. M. Jenkins, "Time Series Analysis: Forecasting and Control," 1976.

[4] Nota Técnica n<sup>o</sup> 246/2012-SRE/ANEEL, de 25/07/2012.

---