

CRIAÇÃO DE ÍNDICE DE DESEMPENHO OPERACIONAL PARA REI, UNINDO INDICADORES DE TELECOMUNICAÇÕES E REDES DE DISTRIBUIÇÃO ATRAVÉS DA LÓGICA FUZZY

Mauro Rodrigues¹

Universidade Regional do NO do RS Unijuí – Brasil

<http://orcid.org/0000-0002-1465-3577>

Alzenira Abaide²

Universidade Federal de Santa Maria – Brasil

<http://orcid.org/0000-0003-1043-1608>

Nelson Knak Neto³

Universidade Federal de Santa Maria – Brasil

<http://orcid.org/0000-0001-8815-0086>

Recibido: 19/09/2019

Aprobado: 25/10/2019

Resumo

Neste trabalho fizemos a proposta de uma metodologia para agregar os indicadores operacionais de redes de distribuição e de Telecomunicações em índices para REI, através da Lógica Fuzzy. Os indicadores usados em redes de distribuição concedidas, no Brasil, são gerenciados pela Aneel (Agência Nacional de Energia Elétrica) enquanto os de Telecomunicações são gerenciados pela Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações). Como a REI (Rede Elétrica Inteligente) necessita que a rede de distribuição seja monitorada continuamente, irá necessitar de recursos de telecomunicações para sua operação. Atualmente, esses indicadores são coletados de

¹ Magister en Ing. Eléctrica. UNIJUI – GIPE Universidade Regional do NO do RS Unijuí – Grupo de Instrumentação e Processamento de Energia Correo: mauro.rodrigues@gmail.com

² Doctorado en Ingeniería Eléctrica. UFSM – CEESP Universidade Federal de Santa Maria – Centro de Estudos de Energia e Sistemas de Potência Santa Rosa/RS; Santa Maria/RS, Brasil Correo: alzenira@ufsm.br

³ Doctorado en Ingeniería Eléctrica. UFSM – CEESP Universidade Federal de Santa Maria – Centro de Estudos de Energia e Sistemas de Potência Santa Rosa/RS; Santa Maria/RS, Brasil Correo: nelsonknak@san.uri.br

maneiras distintas, com valores, parâmetros e atribuições específicas para cada área. No entanto, as correlações podem ser realizadas quando se pesquisa problemas e evidências com origem comum nas áreas envolvidas. Para realizar essa inter-relação propõe-se a aplicação da Lógica Fuzzy, como ferramenta matemática com similaridades ao raciocínio humano e, por sua vez, com implementação computacional. A metodologia proposta neste trabalho traz a especificação do índice proposto, composto de indicadores, e um estudo de caso teórico a partir de outro trabalho de Telecomunicações aplicado à REI.

Palavras-chave: Distribuição de energia elétrica; Telecomunicações; Smart Grid;

Abstracts

In this work, we proposed a methodology to aggregate the operational indicators of distribution networks and Telecommunications into indexes for REI, through Fuzzy Logic. The indicators used in distribution networks granted in Brazil are managed by Aneel (National Electric Energy Agency) while those in Telecommunications are managed by Anatel (The National Telecommunications Agency). As REI (Intelligent Electric Network) requires the distribution network to be monitored continuously, it will need telecommunications resources for its operation. Currently, these indicators are collected in different ways, with specific values, parameters and attributions for each area. However, correlations can be made when researching problems and evidence with common origin in the areas involved. To achieve this interrelation, the application of Fuzzy Logic is proposed, as a mathematical tool with similarities to human reasoning and, in turn, with computational implementation. The methodology proposed in this work brings the specification of the proposed index, composed of indicators, and a theoretical case study from another work of Telecommunications applied to REI.

Keywords: Electricity distribution; Telecommunications; Smart Grid;

Indicadores operacionais; Lógica Fuzzy.

Introdução

A Lógica Fuzzy teve seu início através de Zadeh (1965) e seu trabalho publicado na revista Fuzzy Sets, entitulado “Information Control” (ZADEH, 1965). Nesse artigo o

autor apresenta as premissas da lógica Fuzzy e como sua organização permitirá análises computacionais que se assemelhem às efetuadas por seres humanos. Outros trabalhos do mesmo autor evoluíram as análises e ampliaram suas aplicações como em (ZADEH, 1973) e (ZADEH, 1971). Em Zadeh (1971), destacam-se as relações de similaridade nos ordenamentos Fuzzy, sinalizando que suas aplicações poderiam ser integradas em diversos sistemas organizados matematicamente e classificados adequadamente.

A capacidade de integrar Lógica Fuzzy e outras ferramentas aparece em vários trabalhos (RHUGGENAATH et al, 2018) onde é aplicada na tomada de decisão, associada à lógica de programação inteira (KAGAN et al, 2009). Em Bernal et al (2018) é associada com GSO (Galactic Swarm Optimization), formando FGSO (Fuzzy Galactic Swarm Optimization). Nessa linha, (REDDY, 2014) faz diversas análises de exames de sangue e dados corpóreos da pessoa para tomar as decisões sobre os resultados, classificando-os em alto, normal e baixo. Autores como García, Lai & Shen (2017) relacionam as regras da Lógica Fuzzy através de uma pré-ordenação com parâmetros Galois, criando um regramento matemático complexo. No entanto as associações passam por formas geométricas que relacionam as variáveis e implicam na avaliação dos parâmetros (PROFILLIDIS & BOTZORIS, 2019).

Num cenário com regulamentações distintas as REI correm o risco de ficarem sem métricas adequadas às necessidades de monitoramento. A metodologia proposta busca interligar os indicadores operacionais hoje existentes, formando o que a literatura chama de índice, uma informação extraída de indicadores e com formulação, normalmente, mais complexa (DARONCO, 2014) (MUNARETTO, 2015).

Assim, neste trabalho, aplica-se a Lógica Fuzzy como ferramenta matemática capaz de integrar os indicadores de desempenho atualmente em uso pelas agências reguladoras, compondo um novo índice híbrido que permita o acompanhamento dos resultados, bem como a seleção das áreas que serão analisadas. Num futuro próximo, espera-se que essa análise alcance um rebuscamento que sua aplicação seja adicionada a páginas online e os próprios usuários possam consultar diretamente seus indicadores locais, bem como se tenha sistemas autônomos de busca e preenchimento dos dados para geração de relatórios automatizados, indo ao encontro de novas práticas de

gerenciamento de serviços públicos (VERDEGEM & VERLEYE, 2009)- (LAMIN, 2013).

A. Motivação

Os cenários criados para REI no Brasil envolvem diretamente o SEP (Sistema Elétrico de Potência) e as redes de Telecomunicações. Esses serviços são concessões estatais envolvendo agências reguladoras do governo federal, no caso, Aneel (Agência Nacional de Energia Elétrica) e Anatel (Agência Nacional de

Telecomunicações). Esses dois órgãos governamentais utilizam métricas de desempenho operacional diferentes, embora o objetivo seja o mesmo: monitorar a qualidade dos serviços concedidos que são prestados aos clientes. A Fig. 1 apresenta as forças a serem integradas pela Lógica Fuzzy.

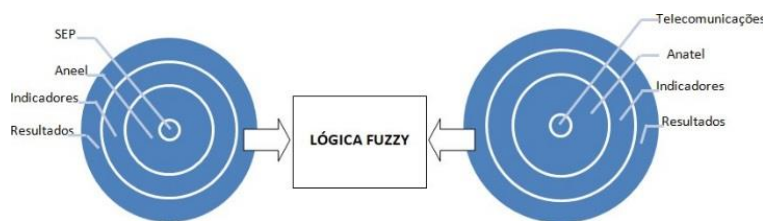


Figura 1 – Lógica Fuzzy integrando os dados originais

Conforme a Fig. 1 é possível perceber que a Lógica Fuzzy é utilizada como ferramenta de integração, tratando os dados como se fossem de matrizes homogêneas, embora saiba-se que se tratam de métricas distintas.

A partir dos estudos sobre a Lógica Fuzzy e suas aplicações percebeu-se a capacidade que a ferramenta possui para integrar dados distintos, com regras e medidas únicas.

A partir do contexto REI, usando SEP e Telecomunicações, buscou-se a Lógica Fuzzy como ferramenta matemática que pudesse unificar os indicadores operacionais de cada área, formulando uma nova solução aplicada.

Revisão Bibliográfica

As aplicações da lógica Fuzzy, algumas citadas na Introdução, contemplam inúmeras áreas, como saúde, segurança, informática, química, eletricidade. Para este caso, devem ser capazes de alinhar os indicadores operacionais aplicados às redes de Telecomunicações e SEP elencadas para este estudo.

A. Indicadores de Desempenho

Existem inúmeros estudos envolvendo indicadores operacionais, principalmente nas áreas de Administração.

No entanto, a Engenharia vem empregando essas ferramentas em diversos sistemas, como na avaliação de manutenção (SCHUERGER, ARNO, & DOWLING, 2015), controle de qualidade (LEHNHART, 2016) (OLIVEIRA & PASSADOR, 2016), serviços estatais concedidos à iniciativa privada (EPE, 2016) (PANAJOTOVIC, JANKOVIC, & BORISLAV, 2011) (SCHUERGER, ARNO, & DOWLING, 2015), controle de projetos (ZABEO & PIZZOL, 2011) (YAN, QIAN, SHARIF, & TIPPER, 2013), etc.

Para Daronco (2014) a concepção de controle e gerenciamento de medidas numéricas envolve a organização de prioridades e uma hierarquia coerente que os coordene em subdivisões como indicadores, índices, dados brutos, etc. Sua tese propõe e aplica uma metodologia para avaliação e auditoria dos planos municipais de saneamento básico, compondo várias métricas em índices agrupados com detalhamento dos processos, agilizando a análise do todo e permitindo uma maior assertividade no investimento.

B. Indicadores Anatel

Os indicadores de desempenho monitorados pela Anatel compreendem, na área de comunicação para REI, as licenças de SMP (Serviço Móvel Pessoal) (ANATEL, 2011b) e SCM (Serviço de Comunicação Multimídia) (ANATEL, 2011a), principalmente, além de alguns do STFC (Serviço de Telefonia Fixa Comutada) (ANATEL, 2015) (ANATEL, 2018). Cada indicador criado pela Anatel obedece um padrão com a sigla e um número sequencial que o identifica dentro dos regulamentos, como por exemplo: SMP7 –

formado pela quantidade de chamadas interrompidas por queda de ligações na rede da prestadora, Equação 1.

$$SMP7 = \frac{A}{B} \times 100 \quad (1)$$

Onde os fatores são: A é o número de quedas de ligações; B é o número total de ligações.

Os indicadores para SMP são controlados pela RGQ- SMP (ANATEL, 2011b) e servem de métrica para as metas estabelecidas. Em casos que o indicador apresente desempenho inferior ao requerido a Anatel instaura Procedimento de Apuração de Descumprimento de Obrigações (PADO) em desfavor da Prestadora (ANATEL, 2017c).

Para o SMP cada indicador apresenta uma meta a ser atingida e é coletado no PMM (Período de Maior Movimento). Esse horário é compreendido entre 9 e 11 h da manhã e 14 h e 16 h da tarde, normalmente na segunda quinta-feira do mês (ANATEL, 2016), ou seja, somente uma amostra mensal, padronizada pela Anatel por ser um dia tido como típico, estatisticamente com menor número de eventos não previstos na planta em operação.

Para o SCM, alguns indicadores apontam relações muito parecidas com os da telefonia. Exemplo para o SCM5 que sinaliza velocidade média mensal em 80%, como o SMP11. No entanto, a amostra colhida para o SCM é realizada no PMT (Período de Maior Tráfego), compreendido entre 10 h da manhã e 22 h da noite, todos os dias (ANATEL, 2011a). A Tabela 1 apresenta um resumo dos indicadores analisados.

TABELA I
INDICADORES ANATEL PARA ANÁLISE

Área	Indicador	Equação	Meta
	SMP8		> 98%
	SMP9	—	< 5%
SM P	SMP10	—	> 95%
	SMP1 1		> 80%
	RAI	—	≤ 2%
STF C	REL	—	≤ 3%
	SCM4		> 95%
SC M	SCM8		< 2%
	SCM9	—	> 99%

C. Indicadores da Aneel

A Aneel avalia vários indicadores para controle das concessões do SEP. Neste trabalho serão utilizados aqueles que foram delimitados para a análise em conjunto com os de Telecomunicações, de forma a compor indicadores e índices relacionando as áreas, somente na distribuição de energia elétrica a clientes residenciais. A Tabela 2 os resume.

Foram selecionados os indicadores individuais para permitir uma posterior análise em sistemas gerenciais computacionais. Com isso, espera-se que o sistema permita uma configuração muito próxima da realidade de cada cliente.

TABELA II

INDICADORES DA ANEEL PARA ANÁLISE

INDICADOR	INFORMAÇÕES	CÁLCULO
DIC	Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão	$DIC = \sum_{i=1}^n t(i)$
FIC	Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora ou por Ponto de	$FIC = n$

	Conexão	
<hr/>		
	Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade	
DMIC	Consumidora ou por Ponto de Conexão	$DMIC = t(i)Max$

D. Lógica Fuzzy

As aplicações em áreas diversificadas convergem para um ponto comum: a capacidade da ferramenta em analisar dados distintos e permitir a tomada de decisão a partir das informações fornecidas.

Analisar exames de sangue, compor novos métodos de otimização, melhorar e ampliar técnicas de controle numérico, entre outras, somam-se, neste trabalho, à criação de indicadores operacionais de desempenho, sobretudo para serviços públicos (BERNAL et al, 2018) (GARCÍA, LAI, & SHEN, 2017) (PROFILLIDIS & BOTZORIS, 2019) (REDDY, 2014), com foco em integração computacional online. Nesse caso específico, a governança ainda é insipiente e deve melhorar à medida que os dados sejam disponibilizados na web e permitam livre acesso de qualquer lugar (VERDEGEM & VERLEYE, 2009).

A Fig. 2 mostra a estrutura geral proposta a partir dos indicadores selecionados para o índice REI.

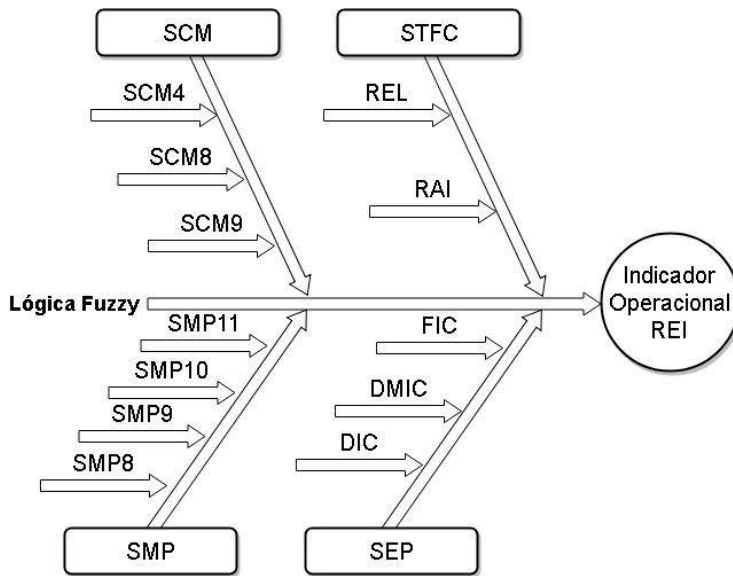


Figura 2 – Estructura organizacional propuesta

Análise dos indicadores

Para compor os indicadores a partir da lógica Fuzzy, foi realizada a comparação entre as métricas empregadas pela Anatel e Aneel. Com isso, obteve-se o relacionado na Tabela 3

Tabela III

Diferenças de abordagem dos indicadores da Aneel e Anatel

Tipo de monitoramento	Fonte	Diferença
Horário	Anatel	Possui um horário de maior movimento onde concentra suas métricas
	Aneel	Período inteiro
Período	Anatel	PMT – compreendido entre 10 h e 22 h
	Aneel	Divide as métricas em tempos inteiros, parcelados em períodos de amostragem
Métrica empregada	Anatel	Porcentagem, sendo o alvo em relação do todo
	Aneel	Itens com métricas individuais, baseando-se em critérios próprios
Índices	Anatel	Somente para pesquisa de percepção do usuário SCM e qualidade somente para SMP incluindo completamento de chamadas
	Aneel	Acumuladores para indicadores individuais e coletivos, além de técnicos para níveis de tensão

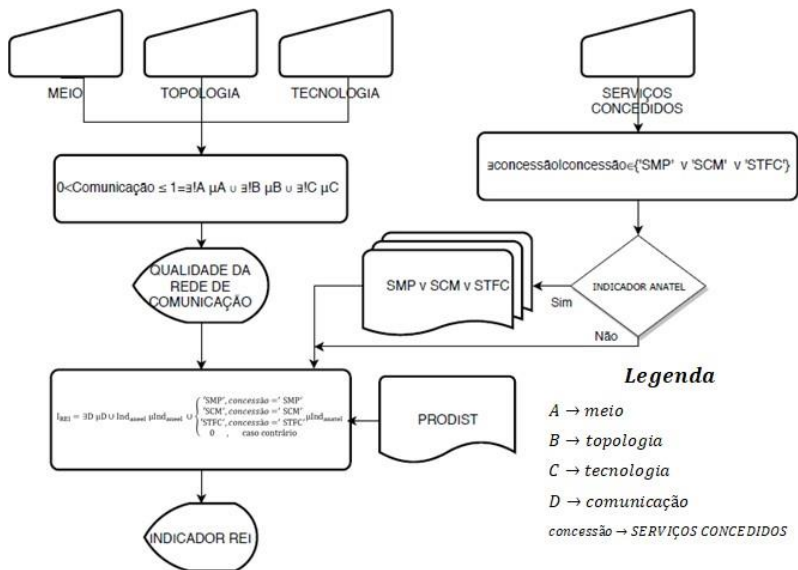
Nesta tabela são apresentadas incongruências entre as análises efetuadas por cada agência de fiscalização. Por exemplo, enquanto a Anatel concentra suas métricas em horários específicos de maior movimento, para banda larga entre 10 h e 22 h de cada dia e conexões discadas uma vez por mês em horários específicos, a Aneel analisa o período

integral de fornecimento ao cliente, mensurando o tempo mínimo e o número de paralisações. Além disso, quanto à medida da janela de tempo utilizada, pode-se salientar que qualquer horário pode apresentar criticidade para o fornecimento de energia elétrica, como a noite, onde as medidas da Anatel sequer verificam a comunicação existente, tornando qualquer problema neste período não atendido pelos indicadores.

Metodologia Desenvolvida

Através da lógica Fuzzy foi possível relacionar os indicadores operacionais de Anatel e Aneel, com todas suas peculiaridades apresentadas.

Para o processo final, ainda foram agregadas as informações oriundas da configuração do sistema de Telecomunicações adotado, através das características básicas expostas pelo Modelo OSI (TANEMBAUM W. , 2006), Fig. 3.



Com esse fluxograma foi possível otimizar a análise da Lógica Fuzzy, a partir da organização modular, economizando regras para os controladores a partir de saídas parciais. A Tabela 5 apresenta os dados de entrada avaliados neste estudo.

TABELA V

ENTRADA PARA O ÍNDICE DE QUALIDADE REI

Regra	Comunicação	Concessão	Anatel	Aneel
1	Ruim	SMP	SMP7-	DIC-FIC- DMIC
			SMP8-	
			SMP9-	
			SMP10-	
			SMP11	
2		STFC	REL-RAI	
3	Média	SMP	SMP7-	DIC-FIC- DMIC
			SMP8-	
			SMP9-	
			SMP10-	
			SMP11	
4		SCM	SCM1-	
			SCM4-	
			SCM5-	
			SCM6-	
			SCM8	
5	Boa	SMP	SMP7-	DIC-FIC- DMIC
			SMP8-	
			SMP9-	
			SMP10-	
			SMP11	
6		SCM	SCM1-	
			SCM4-	
			SCM5-	
			SCM6-	
			SCM8	

Os dados de STFC (Sistema de Telefonía Fija Comutada) (ANATEL, 2016) apenas foram citados para situações emergenciais, pois, o sistema de comunicação via linha discada está praticamente em desuso nessa área. No entanto, pode ser necessário em situações de backup ou suporte emergencial para a REI estabelecida. Por isso apenas dois indicadores foram selecionados apontando falhas pontuais em clientes locais. Os indicadores escolhidos para STFC foram:

- * **REL** – taxa de reclamações na modalidade local;
- * **RAI** – número de solicitações de reparo de acessos in- dividuais.

Percebe-se, no detalhamento a seguir, que os valores tratados como Ruim, Regular e Bom são compostos a partir dos dados reais, avaliados sob a geometria alocada à Lógica Fuzzy e uma saída que ficará entre 0 e 1, mínimo e máximo valor estabelecido.

A. A estrutura para SMP

A Tabela 6 apresenta os valores para SMP, onde foram definidos 3 níveis para cada avaliação individual dos indicadores.

TABELA VI

DADOS PARA APLICAR NO CONTROLADOR SMP

Indicador	Meta	Ruim	Regular	Bom
SMP7	< 2%	> 3%	1% < Valor < 3%	< 1%
SMP8	≥ 98%	< 96%	96% ≤ Valor < 98%	≥ 98%
SMP9	< 5%	> 6%	4% ≤ Valor ≤ 6%	< 4%
SMP10	≥ 95%	< 93%	93% ≤ Valor ≤ 96%	> 96%
SMP11	≥ 80%	< 79%	79% ≤ Valor ≤ 90%	> 90%

As variações em torno da meta foram quantificadas de forma a apresentar um valor chamado de Regular, admitindo ultrapassar o estabelecido. Na representação do modelo Fuzzy esta ultrapassagem pode ser sinalizada com o grau de pertinência adequado a partir da geometria montada para representar os parâmetros (PROFILLIDIS & BOTZORIS, 2019).

B. A estrutura para STFC

O sistema de telefonia fixa não foi abordado de forma mais aprofundada, mas foi notada uma aplicação possível a partir de conexões discadas como salvaguarda da comunicação principal (ARTIGOS, 2015). A Tabela 7 apresenta os dados.

TABELA VII

DADOS PARA APLICAR NO CONTROLADOR STFC

Indicador	Meta	Ruim	Regular	Bom
REL	$\leq 2\%$	$> 3\%$	$1\% \leq \text{Valor} \leq 3\%$	$< 1\%$
RAI	$\leq 2\%$	$> 3\%$	$1\% \leq \text{Valor} \leq 3\%$	$< 1\%$

C. A estrutura para SCM

Para o SCM existe um conjunto de indicadores selecionados, apresentados na Tabela 8.

TABELA VIII

DADOS PARA APLICAR NO CONTROLADOR SCM

Indicador	Meta	Ruim	Regular	Bom
SCM1	$\leq 2\%$	$> 3\%$	$1\% \leq \text{Valor} \leq 3\%$	$< 1\%$
SCM4	$\geq 95\%$	$< 93\%$	$93\% \leq \text{Valor} \leq 96\%$	$> 96\%$
SCM5	$\geq 80\%$	$< 79\%$	$79\% \leq \text{Valor} \leq 90\%$	$> 90\%$
SCM6	$\geq 95\%$	$< 93\%$	$93\% \leq \text{Valor} \leq 96\%$	$> 96\%$
SCM8	$\geq 95\%$	$< 93\%$	$93\% \leq \text{Valor} \leq 96\%$	$> 96\%$

D. A ESTRUTURA PARA INDICADORES ANEEL

EMBORA EXISTAM VÁRIOS INDICADORES MONITORADOS PELA ANEEL, ATRAVÉS DO PRODIST MÓDULO 8, APENAS OS INDIVIDUAIS SERÃO UTILIZADOS NESTE MOMENTO, OU SEJA: DIC, FIC, DMIC. ESTA ESCOLHA DEVE-SE AO FATO DESTES OBEDECEREM FATORES DEFINIDOS NA TABELA 2 DO ANEXO 1 DO REFERIDO DOCUMENTO (ANEEL, 2017).

ASSIM, A TABELA 9 APRESENTA OS VALORES SELECIONADOS.

TABELA IX

DADOS PARA APLICAR NO CONTROLADOR PRODIST

Indicador	Meta	Ruim	Regular	Bom
DIC	< 2,81 h	> 3	$3 \geq \text{Valor} \geq 2,5$	< 2,5
FIC	< 1,62 interrupções	> 2	$2 \geq \text{Valor} \geq 1,5$	< 1,5
DMIC	< 2,36 h	> 2,8	$2,8 \geq \text{Valor} \geq 2,2$	< 2,2

E. O índice de saída

A composição do índice deve utilizar o regramento atual e gera uma correlação dos dados, transformando-os em informações úteis.

A lógica Fuzzy ainda pode correlacionar valores de acordo com pesos estabelecidos, formando um regramento capaz de fornecer novos números que apontam o estado atual daquela topologia de rede e dos indicadores de desempenho envolvidos. A organização das entradas foi criada a partir de definições de geometria trapezoidal. Essa forma permite a configuração que intercala valores ou os coloca de forma separadas, permitindo, inclusive, que possam obter estados totalmente separados onde o trapézio transforma-se num retângulo. Para o estudo realizado, alguns indicadores não compartilham dados e as análises de topologia, por exemplo, são excludentes. Assim, onde um valor inicia o outro termina; ainda podem ser associados sistemas onde ocorrem áreas comuns para a caracterização dos problemas. A Fig. 4 apresenta a geometria adotada para as avaliações

Fuzzy indicadas.

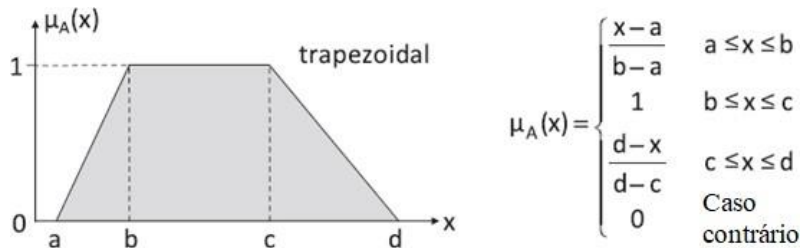


Figura 4 – Geometrias aplicadas na Lógica Fuzzy. Adaptado de (PROFILLIDIS & BOTZORIS, 2019)

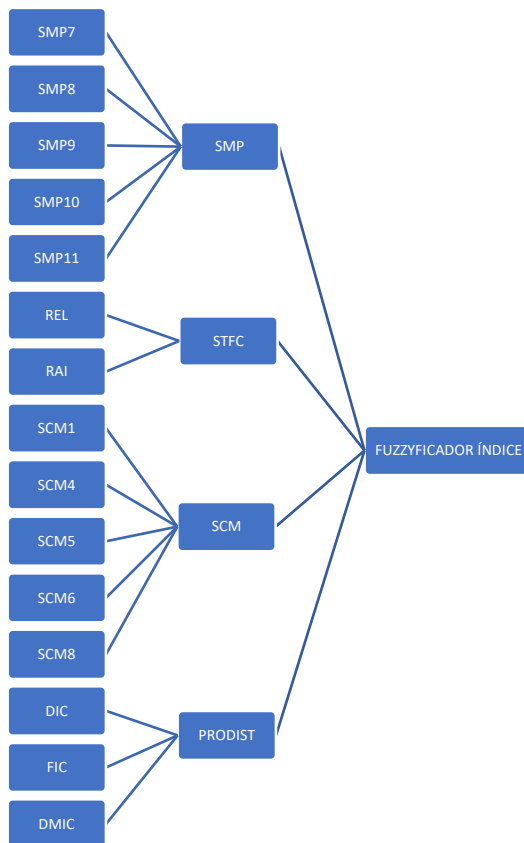


Figura 5 – Estrutura dos controladores para o índice REI

Outra configuração possível é diminuir a área superior convertendo a figura para um triângulo, onde apenas um caso ocasiona o valor máximo. Assim, para finalizar, as distribuições gaussianas não serão utilizadas nas métricas envolvidas, pois alguns valores já vêm de uma análise proporcional.

Para limitar o número de regras de cada controlador será proposta a organização

em camadas dos controladores criados. Assim, a Fig. 5 apresenta a estrutura proposta.

A partir das entradas obtidas pelos indicadores mensurados, a lógica Fuzzy irá reuni-los por área e depois unificar em um índice comum que poderá ser analisado qualitativamente (bom, ruim, etc) ou quantitativamente, atribuindo valores estabelecidos a partir das estruturas geométricas propostas para cada item.

Estudo De Caso

Para demonstrar a viabilidade do processo foi realizado um estudo de caso baseado numa das redes de Telecomunicações verificada na bibliografia (HEGER, VODRASKA, & KOCUR, 2015). Esse estudo busca apresentar os resultados obtidos pela saída parcial da qualificação da comunicação e usar esse valor como entrada no processo final de criação do índice para REL.

Para isso foram criados 6 cenários a serem aplicados sobre o trabalho citado, conforme a Tabela 10 e Fig. 4, com valores bons e ruins. Os 4 primeiros são para SMP e os dois seguintes para o Prodist, agrupados do pior para o melhor.

TABELA X
CENÁRIOS MONTADOS PARA O ESTUDO DE CASO PROPOSTO

Cenário	Indicador	Valor arbitrado
0		
1		2,5%; 97,5%; 5,5%; 94%; 78%
	SMP7; SMP8;	
2	SMP9;	2%;
3	SMP10; SMP11	98%;
4		5%;
		94,5

		%;
		80%
		1,5%; 98,5%; 5,5%;
		95%; 85%
		1%; 99%; 6%; 96%;
		90%
5	DIC; FIC;	3 h; 2; 2,5 h
6	DMIC	2,8 h; 1,5; 2,3 h

Comparando os valores atribuídos aos cenários criados, percebe-se que eles vão de situações muito ruins para boas, de forma a avaliar se os controladores da lógica Fuzzy serão capazes de interpretá-las e relacioná-las adequadamente.

Aplicando estes dados no trabalho de Heger&Vodraska &Kocur (2016), Fig. 6, é possível encontrar várias estruturas, pois a topologia proposta pelos autores é composta de pelo menos três etapas distintas, marcadas como 1, 2 e 3. Esta topologia de comunicação foi escolhida por apresentar características bem caracterizadas e poder ser implementada em redes elétricas brasileiras que evoluam para REI. Além disso, ela atende a uma topologia proposta em 2017 pelos autores, baseada na atual composição de redes típicas de distribuição de energia elétrica, Fig. 7 (RODRIGUES, et al., 2017).

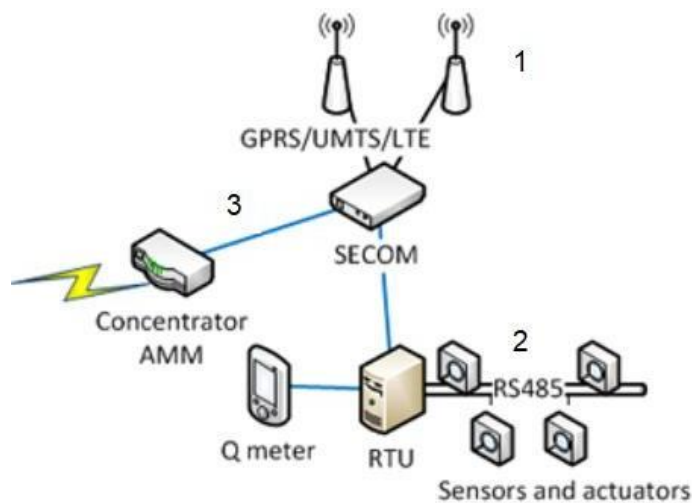


Figura 6 – Proposta de rede de comunicação para subestação transformadora, adaptada de (HEGER, VODRASKA, & KOCUR, 2015)

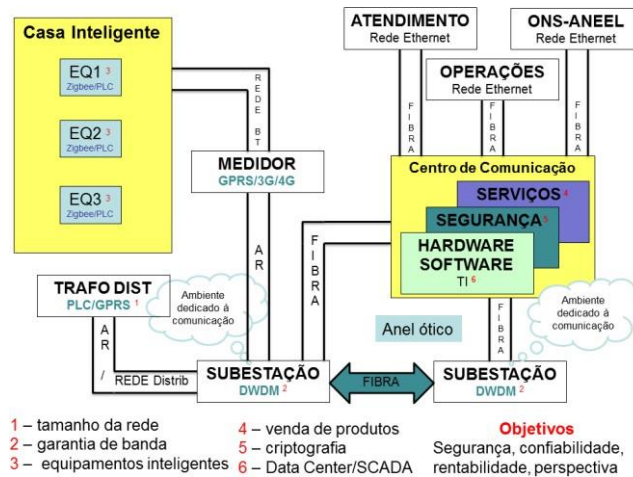


Figura 7 – Topologia de comunicação para REI

A etapa 1 possui uma topologia em anel, diversificada em comunicação via rede de telefonia móvel, assim como a marcação 3 que é conectada em um barramento pontual, ou ponto a ponto e, num aumento do número de concentradores de medidores, pode ser tomada como estrela (TANEMBAUM W. , 2006). A marcação 2, por sua vez, é uma topologia em barramento, via protocolo RS 485 que configura uma comunicação serial muito usada na indústria como padrão para interligação de equipamentos. Assim, a Tabela 11 resume as informações.

TABELA XI
DADOS PARA APLICAR NA FERRAMENTA MATEMÁTICA

Configuração	Topologia	Meio	Tecnologia
1	Anel	Ar	GPRS/UM TS
2	Barramento	Par traçado	Serial
3	Estrela	Ar	GPRS/UM TS

A partir da escolha desta rede é possível avaliar a qualidade de conexão para a referida estrutura e obter uma saída para cada hierarquia de comunicação, aplicando a metodologia proposta e considerando os indicadores criados como cenário na Tabela 10.

O controlador criado ainda precisa das regras para gerar cada saída. Para o SMP foram criadas 30 regras que contemplam 3 entradas simultâneas num determinado nível selecionando, automaticamente, uma saída. A Tabela 12 apresenta os valores obtidos a partir da Tabela 6.

TABELA XII
RESPOSTAS DO CONTROLADOR SMP

Cenári	Valor	Resposta
0		
1	2,5%;97,5%;5,5%;9 4%;78%	0,3
2	2%;98%;5%;94,5%; 80%	0,6
3	1,5%;98,5%;5,5%;9 5%;85%	0,7
4	1%;99%;6%;96%;90 %	0,88

Os indicadores oriundos do STFC e do SCM podem ser ignorados por não estarem presentes na topologia escolhida para o estudo de caso. Assim, pode-se passar à análise dos indicadores de continuidade do Prodist.

A implantação das regras para o controlador chamado de Prodist contemplou os valores arbitrados na Tabela 9, gerando a Tabela 13 com as respostas obtidas.

TABELA XIII
RESPOSTAS DO CONTROLADOR PRODIST

Cenário	Valor	Resposta
1	3h; 2; 2,5 h	0,3
2	2,8 h; 1,5 ; 2,3 h	0,73

A. União dos valores parciais

TABELA XIII
RESPOSTAS DO CONTROLADOR DE SAÍDA

Cenário	Valor SMP	Valor Prodist (h)	Valor Comunicação	Resposta (0 a 1)
1	2,5%; 97,5%; 5,5%; 94%; 78%	3 h; 2; 2,5	Boa	0,28
2	2%; 98%; 5%; 94,5%; 80%	3 h; 2; 2,5	Boa	0,6
3	1,5%; 98,5%; 5,5%; 95%; 85%	2,8 h; 1,5; 2,3	Boa	0,68
4	1%; 99%; 6%; 96%; 90%	2,8 h; 1,5; 2,3	Boa	0,85

1	2,5%; 97,5%; 5,5%; 94%; 78%	3 h; 2; 2,5	Média	0,28
2	2%; 98%; 5%; 94,5%; 80%	3 h; 2; 2,5	Média	0,54
3	1,5%; 98,5%; 5,5%; 95%; 85%	2,8 h; 1,5; 2,3	Média	0,68
4	1%; 99%; 6%; 96%; 90%	2,8 h; 1,5; 2,3	Média	0,84

A Tabela 14 apresenta o resumo dos resultados obtidos na saída como índice geral de operação desse sistema, considerando os cenários propostos e a rede escolhida para o estudo.

Esta simulação apresenta 4 cenários, compostos por SMP e Prodist e seus resultados parciais obtidos nos outros controladores. Como são duas configurações de rede de Telecomunicações para avaliar, a tabela foi dividida em dois níveis, gerando 4 respostas para cada configuração adotada.

Conclusão

Considerando a limitação realizada para colocação do indicador entre 0 e 1, percebe-se que o processo criado com a lógica Fuzzy relacionou corretamente os cenários de simulação criados.

Os piores cenários de indicadores fora da meta foram relacionados para duas topologias do trabalho analisado, apresentado um resultado de 0,28.

O melhor caso, no outro extremo dos cenários, apresentou valores de 0,84 e 0,85, pois foi considerado que a topologia de rede também contribui para o resultado do índice REI. No entanto, ficou registrado no fluxograma da Fig. 3 a topologia completa do algoritmo computacional proposto para a simulação.

A partir do estudo de caso realizado foi possível comprovar a aplicação da lógica

Fuzzy como ferramenta para compor índices a partir de indicadores de desempenho operacional.

Com isso, percebe-se que é possível compor um índice que utilize os atuais indicadores operacionais monitorados por Anatel e Aneel, criando uma nova perspectiva de análise das REI brasileiras a partir dos dados existentes. Além disso, é possível incorporar novos aspectos qualitativos na análise, como: topologia, meio, etc.

Por fim, a ferramenta matemática desenvolvida pode ser adaptada a analisar dados oriundos de pesquisa de satisfação dos usuários, selecionados regionalmente, apontando áreas menores onde o processo de concessão do serviço público não apresente resultados eficientes de acordo com o estabelecido pelo órgão regulador. Além disso, o poder adaptativo da Lógica Fuzzy pode ser implementado para cruzamento de dados e pesquisas personalizadas a partir da ferramenta computacional em desenvolvimento.

Agradecimento

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES/PROEX) – Código de Financiamento 001.

Referências Bibliográficas

ANATEL. (7 de 8 de 2007). Resolução 477 - aprova regulamento do Serviço Móvel Pessoal - SMP. Acesso em 6 de 1 de 2018, disponível em Legislação Anatel: <http://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2007/9-resolucao-477>

ANATEL. (31 de 10 de 2011a). Resolução 574 - Aprova o Regulamento de Gestão da Qualidade do SCM - RGQ-SCM. Acesso em 10 de 12 de 2017, disponível em Legislação - Anatel: <http://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/26-2011/57-resolucao-574>

ANATEL. (31 de 10 de 2011b). Resolução 575 - Aprova o Regulamento de Gestão da Qualidade do SMP - RGQ-SMP. Acesso em 10 de 12 de 2017, disponível em Legislação - Anatel: <http://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/26-2011/68-resolucao-575>

ANATEL. (19 de 6 de 2013). Resolução 617 - Aprova o Regulamento do Serviço Limitado Privado. Acesso em 6 de 1 de 2018, disponível em Legislação - Anatel: <http://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2013/480-resolucao-617>

ANATEL. (21 de 08 de 2015). Indicadores de Qualidade do STFC. Acesso em 08 de 2019, disponível em <https://www.anatel.gov.br/dados/medidas->

adicionais-como-funcionam/ 102-qualidade/indicadores-de-qualidade/291-indicadores-de-qualidade-do-servico-de-telefonias-fixas-stfc

ANATEL. (23 de 08 de 2016). Regulamento de Gestão da Qualidade. Fonte: Resolução 605/2012: <http://www.anatel.gov.br/dados/control-de-qualidade?layout=edit&id=301>

ANATEL. (6 de 2 de 2017c). Relatório de indicadores de desempenho operacional (SMP). Acesso em 18 de 1 de 2018, disponível em Qualidade da Telefonia Móvel: <http://www.anatel.gov.br/Portal/verificaDocumentos/documento.asp?numeroPublicacao=346831&pub=original&filtro=1&documentoPath=346831.pdf>

ANATEL. (31 de 12 de 2018). Controle de Qualidade. Acesso em 03 de 01 de 2019, disponível em Anatel.gov.br: <http://www.anatel.gov.br/dados/control-de-qualidade>

ANEEL. (2017). ANEEL - Procedimentos de Distribuição - Módulo 8. Acesso em 10 de 12 de 2017, disponível em PRODIST: www.aneel.gov.br

ARTIGOS, C. D. (2015). Redes de Telecomunicações - Sistemas Avançados. Rio de Janeiro: Érica.

Aydin, Ç. a., & NES, e. Y. (2012). Performance assessment of Turkish electricity distribution utilities: An application of combined FAHP/TOPSIS/DEA methodology to incorporate quality of service. *Utilities Policy* 23, pp. 59-71.

Bernal, E., Castillo, O., Soria, J., F., V., & Melin, P. (2018). A variant to the dynamic adaptation of parameters in galactic swarm optimization using a fuzzy logic augmentation. *IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ)* (pp. 1-7). IEEE.

Daronco, G. C. (2014). Proposição e aplicação de metodologia para avaliação e auditoria de planos municipais de saneamento básico. Porto Alegre/RS: UFRGS.

EPE. (mar de 2016). Resenha Mensal do mercado de energia elétrica. Acesso em 31 de mar de 2016, disponível em Empresa de Pesquisa Energética: <http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/Resenha%20Mensal%20do%20Mercado%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%20-%20Fevereiro%202016.pdf>

García, J. G., Lai, H., & Shen, L. (2017). Fuzzy Galois connections on fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems* 352, 26-55.

Heger, T., Vodraska, J., & Kocur, Z. (2015). Testing, Troubleshooting and Modelling Tools

Heger, T., Vodraska, J., & Kocur, Z. (2015). Testing, Troubleshooting and Modelling Tools

- for Communication Part of Smart Grid. SMART CITIES SYMPOSIUM, 1-4.
- IEEE COMMUNICATION SOCIETY. (2013). IEEE VISION FOR SMART GRID COMMUNICATIONS: 2030 and Beyond. New York: IEEE STANDARDS ASSOCIATION.
- Kagan, N., Schmidt, H. P., Oliveira, C., & Kagan, H. (2009). Métodos de Otimização Aplicados a Sistemas Eléctricos de Potência. São Paulo/SP: Editora Blucher.
- Lamin, H. (2013). TESE-Análise de Impacto Regulatório da implantação de redes inteligentes no Brasil. Brasília/DF: UNB.
- Lehnhart, E. d. (2016). TOMADA DE DECISÃO EM CONTEXTOS ESPECÍFICOS: uma análise das relações entre os métodos multicritério... Santa Maria/RS: UFSM.
- Munaretto, L. F. (2015). AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO ORGANIZACIONAL EM COOPERATIVAS DE ELETRIFICAÇÃO: um estudo sobre uso de indicadores de desempenho. Porto Alegre: Editora Buqui.
- Oliveira, L. R., & Passador, C. S. (2016). The Brazilian Unified National Health System: Proposal of a Cost-effectiveness Evaluation Model. BAR - Brazilian Administration Review, 13, 1-6.
- Panajotovic, B., Jankovic, M., & Borislav, O. (5-8 de 10 de 2011). ICT and Smart Grid. TELSIS 2011, pp. 118-121.
- Profillidis, V., & Botzoris, G. (2019). Chapter 9 - Fuzzy Methods. In: Elsevier, Modeling of Transport Demand - Analyzing, Calculating, and Forecasting Transport Demand (pp. 383-417). Elsevier.
- Reddy, P. V. (26-28 de 11 de 2014). Generalization of Fuzzy Sets Type- 2, Fuzzy Quantifiers Sets and α -Cut Fuzzy Sets Fuzzy Temporal Sets, Fuzzy Granular Sets and Fuzzy rough International Conference on Fuzzy Theory and Its Applications, pp. 77-81.
- Rhuggenaath, J., Zhang, Y., Akcay, A., Kaymak, U., & Verwer, S. (2018). Learning fuzzy decision trees using integer programming. IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ). IEEE.
- Rodrigues, M. F., Milke, T., Miranda, S. T., Lima, F. N., Santos, M. M., Malaquias, L., Oizimas, J. (21-25 de 05 de 2017). GERENCIAMENTO DE ENERGIA E DEMANDA COM A IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA INTELIGENTE – SMART GRID. XVII

ERAC-DECIMOSÉPTIMO ENCUENTRO-REGIONAL IBEROAMERICANO DE CIGRÉ.

Schuerger, R., Arno, R., & Dowling, N. (2015). Why Existing Utility Metrics Do Not Work for Industrial Reliability Analysis. PSEC- 0592, pp. 1-5.

Superintendência de Regulação e Comercialização, SRC. (2000-201). Pesquisa de Satisfação dos Consumidores de Eletricidade. Brasília/DF: Aneel.

Tanembaum, A. (2006). REDES DE COMPUTADORES. SÃO PAULO/SP: McGraw Hill.

Tanembaum, W. (2006). Redes de Computadores. São Paulo: MC Graw Hill.

Verdegem, P., & Verleye, G. (2009). User-centered E-Government in practice: A comprehensive model for measuring user satisfaction. Government Information Quarterly(26), 487-497.

Yan, Y., Qian, Y., Sharif, H., & Tipper, D. (4 de 2013). A Survey on Smart Grid Communication Infrastructures: Motivations, Requirements and Challenges. IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS.

Zabeo, A., & Pizzol, L. e. (2011). Regional risk assessment for contaminated sites Part 1: Vulnerability assessment by multicriteria decision analysis. Environment international, v.37, n. 8, 1295-1306.

Zadeh, L. A. (1965). FUZZY SETS - Information Control, vol.8.

Zadeh, L. A. (1971). Similarity Relations and Fuzzy Orderings. Information Sciences, 177-200.

Zadeh, L. A. (3 de 1973). Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, pp. 28-44.