

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DOS CONJUNTOS ELÉTRICOS EM CIDADES INTELIGENTES CONSIDERANDO O PADRÃO ECONÔMICO DAS REGIÕES

Abstract— A widely cited and expanded concept in the world of research called "Smart City" brings together a set of information from the analysis of data to interactive applications with public entities in the sense of assisting citizens in their various daily activities. To do so, it makes use of several methods of data analysis, which offer different ways to identify solutions to problems that require high quality information to meet services consumed by the community. Then, it is necessary to develop innovative methods to identify the available services, always considering the counterpart, that is, the existence of a relationship between the cost and efficiency of a service delivered. In this proposal, the DEA (Data Envelopment Analysis) method was used to evaluate the relationship between the influence of the income of a region or district on the quality of the electric energy supplied. The indicators of continuity and the capacity of purchasing power of consumers linked to that region were considered as data of the electricity distribution network. Based on the comparison of the quality of service provided and purchasing capacity of a region of Campinas can be concluded the existence of a correlation of operator investment with service provided quality. Greater consumer purchasing capacity greater will be operator investment in that region.

Keywords—Efficiency, Electric Set, DEA, Smart Grid, Smart City, Service level.

Resumo— Um conceito amplamente citado e em larga expansão no mundo da pesquisa denominado "Smart City" congrega um conjunto de informações partindo da análise de dados a aplicações interativas com as entidades públicas no sentido de auxiliar cidadãos nas suas diversas atividades de seu cotidiano. Para tanto, faz uso de diversos métodos de análise de dados, que oferecem distintas formas de identificar soluções a problemas com grande qualidade informações no sentido de atender demandas dos serviços consumidos pela comunidade. Para tanto é necessário o desenvolvimento de métodos inovadores para identificar os serviços disponíveis sempre considerando a contrapartida, ou seja, a existência de uma relação entre o custo e eficiência de um serviço entregue. Nesta proposta, foi utilizado o método analítico DEA ("Data Envelopment Analysis"), também conhecido como Análise Envolvória de Dados, com o objetivo de avaliar a relação entre influência da renda de uma região ou bairro na qualidade do serviço de energia elétrica. Foram considerados como dados da rede de distribuição de energia elétrica, os indicadores de continuidade, e o poder aquisitivo dos consumidores atrelados àquela região. Com base na análise dos resultados da comparação do serviço fornecido por uma operadora e o poder aquisitivo de uma região pode-se concluir que não há uma relação direta entre a renda de uma região e a qualidade da energia distribuída por uma operadora.

Palavras-chave—Eficiência, Conjunto Elétrico, DEA, Redes Inteligentes, Cidades Inteligentes, Smart City, Nível de Serviço.

1 Introdução

Os desenvolvimentos das diversas dimensões da cidade em busca de manter a qualidade de vida, as necessidades de um ambiente mais sustentável e de maior conforto humano seguem em rápido crescimento. Entretanto, esses desenvolvimentos ainda não são suficientes, com a existência de sistemas precários de infraestrutura urbana, identificados, por exemplo, nos sistemas viários, econômicos, de administração pública ou até de bens primários como no sistema hídrico ou elétrico (Ojo, 2016).

A inovação em larga escala, que vem sendo aplicada nas cidades como forma de fornecer solução para os problemas de infraestrutura urbana, serve de base para ampliar a divulgação e aplicação dos conceitos base das chamadas Cidades Inteligentes ou "Smart Cities" (Letaifa, 2015). As Cidades Inteligentes se baseiam no uso de forma eficiente dos inúmeros recursos disponíveis na cidade para seu próprio crescimento e desenvolvimento (Batty, 2012). Aplica-se, também, dentro desses conceitos, os emergentes estudos em IoT ("Internet of Things" ou Internet das Coisas) e em ICT ("Information and Communication Technologies" ou Tecnologias de Comunicação e Informação). Assim, uma Cidade Inteligente pode ser definida como aquela que traz um sistema de inovação e embute tecnologias da informação e da comunicação em seus subsistemas urbanos. (Cordella, 2015)

A aplicação desses conceitos é vasta e podem ser identificadas diversas dimensões de uma cidade que

com sua "inteligência" auxilia no estabelecimento do conceito de "Smart Cities". Dentro do conceito de Cidades Inteligentes, enfatiza-se o ramo de "utilities" ou, no caso deste estudo, a energia, considerando novos conceitos próprios de cada dimensão, como por exemplo, o conceito de "Smart Grids" ou Redes Inteligentes. Este conceito está vinculado ao desenvolvimento inovador em busca de soluções de problemas da rede elétrica de no sentido de fornecer energia com qualidade e de forma eficiente. No Brasil, a agência reguladora, ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), se responsabiliza por regular e avaliar todas as entidades que estejam vinculadas ao processo de geração a distribuição da energia elétrica. (ANEEL 2, 2010)

Por outro lado, nos dias de hoje, é notável a desigualdade social em diferentes regiões, principalmente em grandes centros urbanos, que é facilmente identificada, quando avaliado o bem-estar urbano. Segundo (Ribeiro, 2016), no Brasil, existem diferentes condições de acesso a recursos da cidade para diferentes classes sociais, ou seja, classes que apresentam maior poder de compra tendem a serem mais favorecidas nas condições de bem-estar. Baseado nesta conclusão, este trabalho indaga sobre a existência de uma relação entre a qualidade de energia distribuída e o poder aquisitivo de uma determinada região.

Em uma Cidade Inteligente, parte-se da existência de sistemas autônomos capazes de produzir dados e informações sobre os estados das diversas dimensões urbanas, resultando na existência de uma massa significativa de dados, capaz de possibilitar avaliar a qualidade do serviço entregue. Vale ressaltar que

uma análise incorreta de dados pode acarretar em conclusões inadequadas com relação à infraestrutura da cidade (Sta, 2016). Assim, surgem métodos analíticos para separação e seleção dos dados captados, de forma a manter a integridade e objetividade dos indicadores extraídos, auxiliando na identificação da eficiência dos serviços fornecidos. (Albino, 2015) (Kitchin, 2014)

Nesse âmbito, este trabalho propõe a utilização dos dados reais de uma rede de distribuição de energia, para avaliar a existência de uma relação entre a qualidade da energia entregue e o poder econômico de determinada região. Foram utilizados os indicadores de continuidade dos conjuntos elétricos (DEC – Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora e FEC – Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e de dados econômicos da região metropolitana de Campinas, utilizando a ferramenta estatística de Análise Envolvória de Dados (DEA – “Data Envelopment Analysis”) (Mello, 2005). Por esta avaliação, busca-se verificar se há influência do poder aquisitivo na qualidade e eficiência do serviço prestado pela distribuição de energia da cidade de Campinas.

Este trabalho é uma extensão da análise de desempenho realizada previamente em (Zacariotto, 2017), incluindo uma comparação com o poder aquisitivo regional dos consumidores alimentados por cada conjunto elétrico.

Este trabalho está estruturado como se segue. A seção 2 descreve a metodologia vinculada a essa pesquisa. Na seção 3, está descrita a aplicação da metodologia proposta em etapas. Na seção 4, estão descritos os resultados obtidos. Finalmente, a seção 5 apresenta as principais conclusões deste trabalho.

2 Metodologia

Na metodologia deste trabalho foram aplicados conceitos como Conjuntos Elétricos, Qualidade de Energia, DEA e Poder aquisitivo por Unidade Territorial Básica, que estão descritos a seguir.

2.1 Conjuntos Elétricos

Conforme mencionado na seção 1, a agência reguladora de todos os processos envolvendo a energia elétrica no Brasil, desde a geração até a distribuição, é a ANEEL. Segundo a ANEEL, existem diversas entidades com distintas responsabilidades em um sistema de distribuição de energia, sendo uma delas conhecida como Conjunto Elétrico, que representa a área de abrangência de uma subestação. É importante ressaltar que os conjuntos elétricos não respeitam divisões geográficas, como divisas entre bairros ou cidades (ANEEL, 2010).

Segundo a ANEEL, os conjuntos contêm atributos físico-elétricos, além de índices de qualidade da energia distribuída. Os dados contabilizados pela distribuidora estão os descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Atributos dos conjuntos elétricos.

Sigla	Descrição
AREAT	Área do conjunto em km ²
PNITT	Potência Instalada de transformadores de distribuição em kVA
TSCT	Tipo de sistema do conjunto. 1: Interligado, 2: Isolado
ERPTUR	Extensão de rede de MT que atendem a área urbana, redes própria e redes particulares
ERPTRU	Extensão de rede de MT que atendem a área rural, redes própria e redes particulares
CMMTRE	Energia consumida residencial nos últimos 12 meses (ano móvel) MT e BT
CMMTIN	Energia consumida industrial nos últimos 12 meses (ano móvel) MT e BT
CMMTCO	Energia consumida comercial nos últimos 12 meses (ano móvel) MT e BT
CMMTRU	Energia consumida rural nos últimos 12 meses (ano móvel) MT e BT
CMMTOU	Energia consumida outras classes nos últimos 12 meses (ano móvel) MT e BT
NUCTRE	Total de unidades consumidoras residencial MT e BT
NUCTIN	Total de unidades consumidoras industrial MT e BT
NUCTCO	Total de unidades consumidoras comercial MT e BT
NUCTRU	Total de unidades consumidoras rural MT e BT
NUCTOU	Total de unidades consumidoras de outras classes MT e BT
DEC	Duração equivalente de interrupção por unidade consumidora
FEC	Frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora
DICRI	Duração da interrupção individual ocorrida em dia crítico por unidade consumidora ou ponto de conexão

Os atributos físico-elétricos (ANEEL 3, 2017) e os índices de continuidade (qualidade) (ANEEL 1, 2017) dos conjuntos elétricos, por cidade e ou por distribuidora, estão disponíveis no *site* da ANEEL.

2.2 Qualidade de Energia

A qualidade de energia é um tópico avaliado pela ANEEL, baseado nos índices de continuidade da rede. Vale ressaltar que, para cada conjunto elétrico, são disponibilizados, pela ANEEL, os valores de DEC (Duração equivalente de interrupção por unidade consumidora), FEC (Frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora), DIC (Dura-

ção de interrupção individual por unidade consumidora), FIC (Frequência de interrupção individual por unidade consumidora), DMIC (Duração máxima de interrupção contínua por unidade consumidora ou ponto de conexão) e DICRI (Duração da interrupção individual ocorrida em dia crítico por unidade consumidora ou ponto de conexão) conforme citado na seção anterior.

Ressalta-se que podem existir diferentes formas de percepção da qualidade de energia, por exemplo, na visão da concessionária, a qualidade da energia pode estar vinculada a dados que não sejam DEC e FEC, e sim, a outros dados como a tensão (em Volts) ou frequência (em Hertz) da energia que está sendo entregue. Já a visão do consumidor pode ser distinta, onde tensão e frequência podem ser menos perceptíveis que a continuidade do serviço.

Considerando a visão do consumidor, dois índices se tornam de suma importância, os mesmos estão descritos a seguir.

2.2.1 DEC - Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora

O DEC avalia uma média da quantidade de horas que um consumidor avaliado em período mensal, trimestral e anual. Para o cálculo de DEC utiliza-se a equação (1), (Mehl, 2013).

$$DEC = \sum_{i=1}^n Ca(i).T(i) / Cs \quad (1)$$

Onde

- i representa a quantidade de interrupções com limite n ;
- $T(i)$ representa o tempo de duração de cada interrupção do conjunto;
- $Ca(i)$ representa a quantidade de consumidores do conjunto;
- Cs representa o número total de consumidores do conjunto.

2.2.2 FEC - Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora

O FEC indica, em quantidade média, o número de vezes em que uma unidade consumidora teve interrupção no fornecimento de energia. Assim como o DEC, é avaliado mensalmente, trimestralmente e anualmente (Mehl, 2013). Para o cálculo do FEC utiliza-se a equação (2).

$$FEC = \sum_{i=1}^n Ca(i) / Cs \quad (2)$$

2.3 DEA

Assim como mencionado na seção 1, o conceito de “Smart Cities” vincula-se a uma enorme massa de dados gerados de diversas fontes e dimensões de uma cidade. Desta forma, são requeridas ferramentas para realizar análises para avaliar ferramentas de apoio à

decisão multicritério no sentido de mensurar o desempenho de cada empresa ou setor de uma empresa na prestação de um serviço. Neste estudo, foi utilizado o DEA (Data Envelopment Analysis), ferramenta que define fronteiras de eficiência a partir da produtividade de cada uma das Unidades de Decisão (UDs). A abordagem utiliza programação linear para estimar uma fronteira de eficiência, que é um limite hipotético de eficiência das unidades estudadas. Esta metodologia é capaz de incorporar diversas entradas (recursos, insumos ou fatores de produção) e saídas (produtos) para o cálculo da eficiência, designadas por DMUs ou “Decision Making Units” (Charles and Cooper, 1978). As equações (3) e (4) apresentam, de maneira geral, a formulação do problema de otimização resolvido pelo DEA.

$$E_o = \max \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} \quad (3)$$

Sujeito a

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \quad j=1,2,\dots,n \quad (4)$$

$$\{v_i \quad u_r\} \geq \varepsilon \quad r=1,\dots,s; i=1,\dots,m$$

Onde y_{ij} e x_{ij} são saídas e entradas conhecidas, s é o número de saídas, m o número de entradas e n o número de unidades. Diz-se que a unidade j é eficaz se $E_j = 1$. Entretanto, se E_j é menor que 1 a unidade j é considerada ineficiente. Observando a Equação (3), percebe-se que no DEA não há necessidade de saber, a priori, os pesos que representam a importância dos diferentes aspectos (variáveis) considerados para a análise.

Ao resolver a Equação (4) para cada unidade, são determinados pesos de tal forma que a avaliação seja a melhor possível, para o critério adotado.

3 Poder aquisitivo por Unidade Territorial Básica

Segundo a referência (ANEEL 4, 2004), a energia elétrica é um fator indispensável para o bem-estar social e para o crescimento econômico. Porém, ao examinar o acesso a esse recurso, nota-se certa discrepância entre regiões, quando analisada a qualidade do atendimento. A ANEEL afirma, também, que existe um déficit de atendimento maior para regiões rurais e mais afastadas dos centros urbanos.

Com base nessas afirmações, indaga-se sobre a existência de uma discrepância na qualidade de energia quando analisado o ambiente urbano por regiões na cidade de Campinas. Desta forma, utilizando dados econômicos das Unidades Territoriais Básicas (UTB), concebidas como as divisões mínimas das unidades territoriais de uma cidade, compostas por um bairro ou um conjunto de pequenos bairros, busca-se analisar a qualidade da energia entregue em diferentes bairros da cidade comparada com dados de renda média dos mesmos. Segundo (Bando, 2014), é

possível determinar uma divisão das UTBs em 5 grandes áreas, cada área contendo bairros com densidade populacional, população residente e renda média próprios. As áreas determinadas estão ilustradas na Tabela 2.

Tabela 2 - Divisão das UTBs por áreas.

Área	População Residente	Renda Média (Reais)	Densidade Populacional
1	241.717	38,87	51837,38
2	286.107	1708,44	62295,22
3	293.093	84,85	41146,02
4	106.309	86,43	54826,48
5	131.192	132,46	37.274,4

2.4 Avaliação dos dados

Partindo da metodologia descrita em (Zacariotto, 2017), foram obtidos dados de eficiência de cada conjunto elétrico, com valores entre 0 e 1, onde os mais eficientes têm o valor como valor 1 e os menos com valor 0. Assim, questiona-se se existe relação entre o poder aquisitivo dos consumidores ligados ao seu respectivo conjunto elétrico e a qualidade (eficiência) da energia recebida.

Esta metodologia pode ser dividida em 3 etapas, conforme Figura 1, onde inicialmente deve-se buscar, nas UTBs, uma relação geográfica com os conjuntos elétricos. Estabelecida esta relação, deve ser feita a normalização dos dados de poder aquisitivo das UTBs por área e, por fim, os dados referentes ao poder aquisitivo devem ser plotados, juntamente com os dados de eficiência dos conjuntos elétricos, permitindo a comparação entre os mesmos.

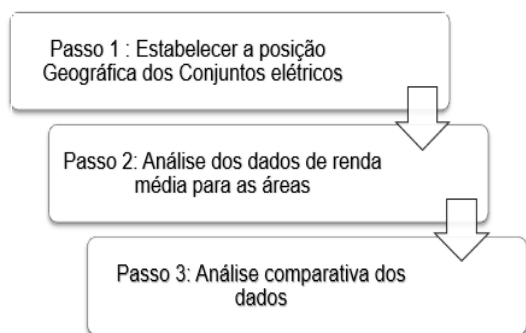


Figura 1 - Proposta metodológica para a Análise comparativa entre a Eficiência e o poder aquisitivo.

4 Resultados

Esta seção apresenta a aplicação da metodologia descrita na seção 3 e os resultados obtidos.

4.1 Posição Geográfica dos Conjuntos Elétricos

Para esta etapa, utilizou-se os 25 conjuntos elétricos descritos na referência (Zacariotto, 2017) e as UTBs conforme descritas na seção anterior. Ressalta-se que dos 25 conjuntos utilizados, apenas 16 pertencem

à cidade de Campinas. As UTBs e os dados disponibilizados são referentes apenas a bairros da cidade de Campinas, assim, houve a necessidade da retirada dos conjuntos elétricos externos a ela para realização desta análise.

Selecionados os conjuntos elétricos, esta análise exige que seja feita uma comparação entre a região geográfica dos bairros (UTB) e a região de abrangência dos conjuntos elétricos. Sendo assim, utilizou-se o ponto físico (geográfico) de cada subestação como ponto base de seu respectivo conjunto elétrico. Desta forma, tem-se o bairro de cada conjunto, possibilitando o relacionamento geográfico entre as UTBs e os conjuntos elétricos, conforme a Tabela 3. A numeração das UTBs e de suas respectivas áreas estão disponíveis na referência (Bando, 2014).

Tabela 3 - Relação geográfica entre conjuntos elétricos e UTBs.

Nº Conjunto	Nome do Conjunto	UTB	Área
1	Centro	34	4
2	Chapadão	17	3
3	Barão Geraldo	4	5
4	Cidade Jardim	59	2
5	Notre Dame	38	2
6	Bandeirantes	55	2
7	DIC	51	1
8	Jardim Marajo	48	1
9	Monte Deste	1	5
10	Souzas	40	2
11	Trevo	55	2
12	Boa Vista	13	3
13	Andorinha	37	2
14	Taquaral	25	5
15	Viracopos	53	1
16	Paineiras	33	4

4.2 Análise dos dados de renda média para as áreas

Após a identificação da área de cada conjunto elétrico, a etapa seguinte consiste em uma análise de dados de renda média. Conforme os resultados apresentados em (Bando, 2014), cada área contém um valor de renda média. Como os valores de eficiência resultantes do DEA variam entre 0 e 1, utilizou-se o método de normalização dos dados de renda, transformando-os em valores entre 0 e 1.

Analizando os dados de renda mensal, é possível identificar uma certa discrepância de valores entre a área 2 e as restantes. Desta forma, foram feitas duas normalizações. A primeira, considerando a renda das áreas tipo 2, e a segunda, desconsiderando a renda das áreas 2. A Tabela 4 ilustra o resultado das normalizações de dados, além de conter os valores de renda média obtidos da referência. (Bando, 2014)

dados no contexto de “Smart Cities”. Nesse contexto, o DEA se apresenta como uma ferramenta interessante e que pode contribuir com a análise de eficiências em Cidades Inteligentes.

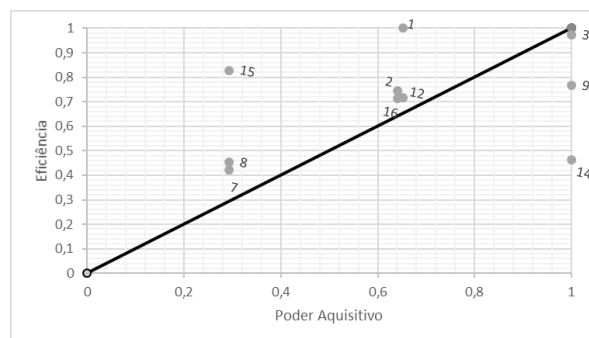


Figura 3 - Gráfico da qualidade de energia e poder aquisitivo normalizado por conjunto elétrico, desconsiderando a área 2.

Com relação à existência de uma relação direta entre a qualidade da energia e o poder aquisitivo de uma região, os resultados obtidos mostraram que essa relação nem sempre é a mesma, pois conjuntos elétricos em áreas que dispõem de poder aquisitivo similar, ou seja, pertencem à mesma área, demonstraram diferentes níveis de eficiência na distribuição de energia (diferentes níveis de qualidade de energia). Essa característica também pode ser notada quando analisados os conjuntos elétricos 7, 8 e 14, onde os conjuntos 7 e 8 pertencem à área com menor renda média e têm qualidade similar ao conjunto elétrico 14 que pertence a uma macro área com maior renda média.

Desta forma, é possível, focando no objetivo deste projeto, notar que não há relação direta entre a renda das UTBs e a qualidade da energia distribuída.

Como sugestão para trabalhos futuros pode-se destacar a necessidade de investigações sobre outras variáveis que afetam a qualidade da energia em uma determinada região, uma vez que pôde-se constatar que os conjuntos elétricos em regiões similares apresentam diferentes níveis de qualidade de energia distribuída.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à CAPES, ao CNPq e à Pontifícia Universidade Católica de Campinas pelo apoio a este projeto.

Referências Bibliográficas

Albino, V, Berardi U, Dangelico RM (2015) Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives. *Journal of Urban Technology* 22(1): 3–21

ANEEL 1 - Agência Nacional De Energia Elétrica. Indicadores Coletivos de Continuidade (DEC e FEC) (2017) Disponível em <http://www.aneel.gov.br/indicadores-coletivos-de-continuidade>. Acesso em 09 de maio de 2017

ANEEL 2 - Agência Nacional De Energia Elétrica. (2010). Qualidade da Energia Elétrica – QEE, PRODIST - Módulo 8, Revisão 1. Disponível em http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/modulo8_revisao_1_retificacao_1.pdf. Acesso em 02 de abril 2017.

ANEEL 3 - Agência Nacional De Energia Elétrica, Qualidade do Serviço e do Produto. (2017). Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atributosfisicoeletricos>. Acesso em 02 de abril de 2017.

ANEEL 4 - Agência Nacional de Energia Elétrica (2004). Superintendência de Estudos Econômicos do Mercado. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/srm>. Acesso em 26 de junho de 2018.

Bando, E.Y. (2014). Proposição Metodológica para o Transporte de Carga na cidade de Campinas. XIX Encontro de Iniciação Científica e IV Encontro de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, Campinas.

Batty, M., et al. (2012). Smart cities of the future. *The European Physical Journal Special Topics* 214.1: 481-518.

Charnes, A., Cooper, W. (1978) Measuring the Efficiency of Decision Making Units, *European Journal of Operational Research*, 429-444.

Cordella A and Tempini N (2015). E-government and organizational change: Reappraising the role of ICT and bureaucracy in public service delivery. *Government Information Quarterly* 32(3): 279–286.

Kitchin R (2014). The real-time city? Big data and smart urbanism. *GeoJournal* 79(1): 1–14.

Letaifa, S. B. (2015). How to strategize smart cities: Revealing the SMART model. *Journal of Business Research*, 68(7), 1414–1419

Mehl, E.L.M. (2013). Qualidade da Energia Elétrica. Disponível em <http://www.cricte2004.eletrica.ufpr.br/mehl/posgrad/qualidade-energia.pdf>. Acesso em 26 de junho de 2018. Curso de pós-graduação em Engenharia Elétrica, Curitiba, Universidade Federal do Paraná.

Mello, J.C.C.B.S., et al. (2005). Curso de Análise de Envoltória de Dados. XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional.

Ojo, A.Z., Dzhupova, E.C. (2016). Exploring the nature of the smart cities research landscape, in: *Smarter as the New Urban Agenda*, Springer, pp. 23–47.

Ribeiro, M.G. (2016). Desigualdades urbanas e desigualdades sociais nas metrópoles brasileiras. *Sociologias*, 18(42), 198-230.

Sta, H. B. (2017). Quality and the efficiency of data in “Smart-Cities”, *Future Generation Computer Systems*, Volume 74: 409-416,

Zacariotto, W.A., et al. (2017). Análise Da Eficiência dos Conjuntos Elétricos na Distribuição de Energia em Cidades Inteligentes, II Congresso Internacional de Inovação e Criatividade, Campinas.