



Encontro Internacional sobre Gestão
Empresarial e Meio Ambiente

ISSN: 2359-1048
Dezembro 2016

**A INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DA CIDADE NO CONSUMO DIRETO DE ENERGIA:
O planejamento urbano aplicado às cidades sustentáveis**

LAERTE JOSE DURAN JUNIOR

laerteduran@gmail.com

SERGIO A PACCA

spacca@usp.br

A INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DA CIDADE NO CONSUMO DIRETO DE ENERGIA: O planejamento urbano aplicado às cidades sustentáveis

RESUMO

Dada a necessidade imediata da redução do consumo de energia per capita, visto que a matriz energética mundial ainda está fortemente baseada em combustíveis fósseis, gerando emissões de Gases do Efeito Estufa, este trabalho explora, através da modelagem baseada em agentes (ABM), as relações entre as características das cidades e o consumo direto de energia. Na introdução é discutida a base teórica e apresentada a revisão da literatura com base predominantemente de cinco anos. Na seção método é apresentado o modelo proposto, a forma de apresentação e as fórmulas para cálculo da estimativa de consumo. Os resultados numéricos das simulações mostram que as características das cidades afetam o consumo direto de energia, contudo o efeito bumerangue pode cancelar os benefícios das ações de planejamento urbano voltados para a conservação de energia. Por fim é concluído que o aumento da densidade urbana e a inserção de áreas verde podem anular os benefícios das ações estratégicas ou ainda culminar em aumento da demanda energética, se considerados os impactos diretos e indiretos em todos os serviços energéticos. Os resultados apresentados podem servir de base para discussões no âmbito do planejamento urbano de cidades de baixo consumo de energia.

Palavras-chaves: sustentabilidade; energia; cidades; planejamento; modelagem.

THE INFLUENCE OF CITY CHARACTERISTICS ON DIRECT ENERGY CONSUMPTION: The urban planning applied to sustainable cities

ABSTRACT

Considering the urgent need for per capita energy consumption reduction because the global energy matrix is dominated by fossil fuels, which are major sources of greenhouse gas emissions, this work explores the relationship between city form and direct energy consumption by means of a agent based model (ABM). Initially we provide a brief literature review on urban energy consumption. Next, we introduce the model and the algorithms used to estimate energy consumption. Results show that although city characteristics affect direct energy consumption, a comprehensive model is crucial to determine the rebound effect. The rebound effect might cancel out energy savings, and it should be considered for planning purposes. Finally, we conclude that increasing population density and adding more green areas might contradict individual strategies to reduce energy consumption.

Key words: sustainability; energy; cities; planning; modeling.

1 INTRODUÇÃO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Desde o final do século XX a parcela da população urbana mundial que habita em cidades ultrapassou 50% da população total (PAGLIARA, 2010; GAUBE; REMESCH, 2013; YIN; MIZOKAMI; MARUYAMA, 2013). Embora os centros urbanos ocupem apenas 2% da extensão territorial do planeta, a população urbana é responsável pelo consumo de aproximadamente 75% do total da energia primária (DHAKAL, 2009; LAZAROIU; ROSCIA, 2012). A situação se agrava em países onde a população urbana ultrapassa a média mundial, a exemplo da China, onde as cidades comportam 89% da população (ZHANG; ZHENG; FATH, 2014).

Consoante ao crescimento populacional mundial ocorre: (a) o aumento do percentual da população urbana; (b) a evolução tecnológica; (c) o crescimento econômico. Como consequência destes crescimentos está o aumento da demanda por energia (GOLDEMBERG; LUCON, 2007), mesmo quando as medidas de eficiência energética são consideradas, (T'SERCLAES et al., 2008; ZHAO; LI; MA, 2012) pois a demanda per capita por energia tem sido crescente no decorrer da história (TSO, 2003; CHEN et al., 2008; WANG, 2014).

Ainda que seja crescente a participação das matrizes energéticas limpas (livres da emissão de gases de efeito estufa (GEE)) no suprimento da demanda energética mundial, grande parte da energia fornecida no mundo ainda é baseada em combustíveis fósseis (TSO, 2003).

Neste panorama, a diminuição da demanda per capita por energia é um tema fundamental a ser enfrentado pelas cidades sustentáveis (GOLDEMBERG; LUCON, 2007; PAPASTAMATIOU et al., 2016) em busca do aumento da intensidade energética (LIU, 2013). Contudo o consumo direto de energia nas cidades é um assunto complexo e dependente de muitos fatores, como a morfologia da cidade e o contexto social (FERTNER; GROBE, 2016).

Parte da energia consumida em cidades é utilizada de forma direta (ZHAO; LI; MA, 2012), incluindo a mobilidade urbana (pública e privada) e os serviços energéticos internos das residências, com especial atenção ao conforto térmico ambiental. Na Austrália, o consumo direto representa 11% do consumo total no país (REN et al., 2013). No Reino Unido, 56% do consumo direto de energia estão relacionados ao controle interno de temperatura (YAO; STEEMERS, 2005). Na China, este mesmo serviço energético é responsável por 15,4% do consumo total (CHEN et al., 2008), enquanto que em Hong Kong este valor sobe para 46% (TSO, 2003). Apesar de variável, em termos percentuais, o consumo direto de energia nas cidades representa montante considerável de energia consumida no mundo.

As cidades são “organismos vivos” (CHOAY, 2003) e complexas (MILLER; PAGE, 2007) e possuem características distintas, como: (a) uso do solo; (b) áreas verdes; (c) formato horizontal e vertical; (d) densidade; (e) distribuição espacial dos edifícios; (f) densidade. Estas características afetam: (a) a mobilidade urbana, (b) o comportamento dos habitantes; (c) o meio ambiente; (d) a demanda energética.

A mobilidade urbana e os edifícios são dois pontos fundamentais onde se encontra grande potencial para redução do consumo energético das cidades (KAMMEN; SUNTER, 2016, p.), seja pelo aumento da eficiência energética e/ou através da mudança de comportamento dos habitantes.

O consumo direto de energia é afetado pela dinâmica urbana (LENZEN, 1998; MARETTO; ASSIS; GAVLAK, 2010). A relação entre o metabolismo urbano, características das cidades e consumo de energia é assunto já discutido no meio científico, incluindo estudos de caso, promovendo o avanço na compreensão das relações entre estes fatores (WANG, 2014), contudo, grande parte dos estudos analisam os fatores de forma isolada. Ainda que de maneira isolada, a literatura tem concluído que:

1. Grande parte da mobilidade urbana ainda é baseada em combustíveis fósseis, responsáveis por emissão de GEE (WIER et al., 2001; ZHANG; ZHENG; FATH, 2014),

pois é comprovada a relação entre o consumo de combustíveis (energia) e as emissões (PETERS; HERTWICH, 2008; LIU; SHEN, 2011; HICKMAN; HALL; BANISTER, 2013; HORNER, 2013; BUBECK; TOMASCHEK; FAHL, 2014). No que diz respeito às características das cidades, a densidade urbana possui correlação negativa com o consumo de combustíveis. (MINDALI; RAVEH; SALOMON, 2004; BROWNSTONE; GOLOB, 2009; YONGLING, 2011; ZHAO; LI; MA, 2012).

2. Existe efeito do comportamento humano no uso de diversos serviços energéticos (REINDERS; VRINGER; BLOK, 2003; TSO, 2003; CARLSSON-KANYAMA; ENGSTRÖM; KOK, 2008; MOLL et al., 2008; RICHARDSON; THOMSON; INFELD, 2008; RICKWOOD, 2009; ALA-MANTILA; HEINONEN; JUNNILA, 2014, p.), bem como as características das famílias, incluindo renda, tamanho (GAUBE; REMESCH, 2013), e composição, que podem afetar o tempo de uso e o padrão de consumo de energia (REN; PAEVERE; MCNAMARA, 2012).
3. Há efeito das áreas verdes sobre o consumo de energia (TAHA, 1997; STEPHAN; CRAWFORD; DE MYTTENAERE, 2012), e pode se dar de duas maneiras: (a) Alterando o uso do solo (CAVAN et al., 2014); (b) Afetando a densidade demográfica (KO, 2013) e a formação das ilhas de calor, devido as alterações promovidas na circulação de ar (THEEUWES et al., 2014), mesmo que estas áreas verdes estejam inseridas nas cidades sob forma de telhados verdes (AMBROSINI et al., 2014);
4. Mesmo considerando o avanço na tecnologia construtiva e o desenvolvimento de novos materiais e projetos que viabilizem o controle de troca de calor entre a área interna e externa dos edifícios, o conforto térmico ambiental (MARIQUE et al., 2014), o consumo de energia utilizado para controle da temperatura interna de residências e edifícios é significativo (YUN; STEEMERS, 2011; YIN; MIZOKAMI; MARUYAMA, 2013). A demanda energética para conforto térmico ambiental é afetado pela formação das ilhas de calor, independente da técnica utilizada para controle da temperatura (YAO; STEEMERS, 2005).
5. O formato e limites (tamanho) da cidade direcionam diretamente o projeto e tamanho das redes de distribuição de energia (EWING; RONG, 2008) e água (FILION, 2008; XU et al., 2014), influenciando nas perdas e consequente alteração no montante de energia consumida.

Não obstante ao conhecimento individual acerca dos fatores acima apresentados, a necessidade da avaliação simultânea do conjunto destes fatores é condição necessária para a compreensão e administração do consumo direto de energia na cidade. (MILLER; PAGE, 2007; PORTUGALI, 2011; HOLDEN, 2012).

A partir de uma visão integrada da relação entre as características das cidades e o consumo energético é possível identificar e mensurar eventual efeito reverso das ações de planejamento urbano voltadas para a diminuição do consumo de energia, ou seja, permite verificar se determinada ação auxilia ou prejudica na busca por cidades com baixo consumo de energia. Esta inversão de resultados é tratada na literatura como efeito “bumerangue” e considera as consequências diretas e indiretas das tomadas de decisão (MIZOBUCHI; TAKEUCHI, 2016).

Com o intuito de avançar na compreensão sistêmica do consumo direto de energia no meio urbano, este trabalho tem por objetivo avaliar as relações e os impactos das características das cidades no consumo direto de energia, auxiliado por proposta de modelo baseado em agentes (MBA), com foco integrador.

Modelos existentes foram adaptados e integrados com o programa NetLogo em simulação única. O modelo construído permite determinar o impacto individual e sistêmico de cada fator no consumo direto de energia. Baseado na revisão da literatura, nas simulações realizadas

pelo modelo é dado como premissa de que as características das cidades e o comportamento humano afetam o consumo de energia (REINDERS; VRINGER; BLOK, 2003; CARLSSON-KANYAMA; ENGSTRÖM; KOK, 2008; MOLL et al., 2008; RICHARDSON; THOMSON; INFELD, 2008; ALA-MANTILA; HEINONEN; JUNNILA, 2014) e que o comportamento individual, por sua vez, é influenciado pelo ambiente construído, composto pelas características da cidade (MOLL et al., 2008; STEPHAN; CRAWFORD; DE MYTTENAERE, 2012; ZHAO; LI; MA, 2012; YIN; MIZOKAMI; MARUYAMA, 2013; CAVAN et al., 2014).

2 MÉTODO

Para avaliar o impacto das características das cidades no consumo direto de energia, foi elaborado um modelo baseado em agentes (MBA) simulando uma cidade virtual com base no programa NetLogo (fig. 1), onde, o tabuleiro, composto por células, representa o espaço físico da cidade e os agentes representam as famílias (consumidores de energia) que habitam na cidade simulada.

O programa NetLogo foi escolhido devido: (a) simplicidade (MOTA et al., 2013); (b) adaptação à fenômenos sociais e complexos, como o metabolismo urbano (LIU, 2013); (c) possibilidade de criação para situações particulares; (d) possível integração com banco de dados; (e) farta documentação; (f) não requer grande capacidade de processamento dos equipamentos; (g) compatibilidade com diversos sistemas operacionais.

A figura 1 apresenta a tela inicial do modelo proposto. As barras deslizantes são utilizadas para selecionar a condição inicial da cidade. O tabuleiro central mostra a evolução da ocupação da cidade, com o posicionamento dos agentes e na lateral direita são apresentados os resultados (parciais e finais) das simulações.

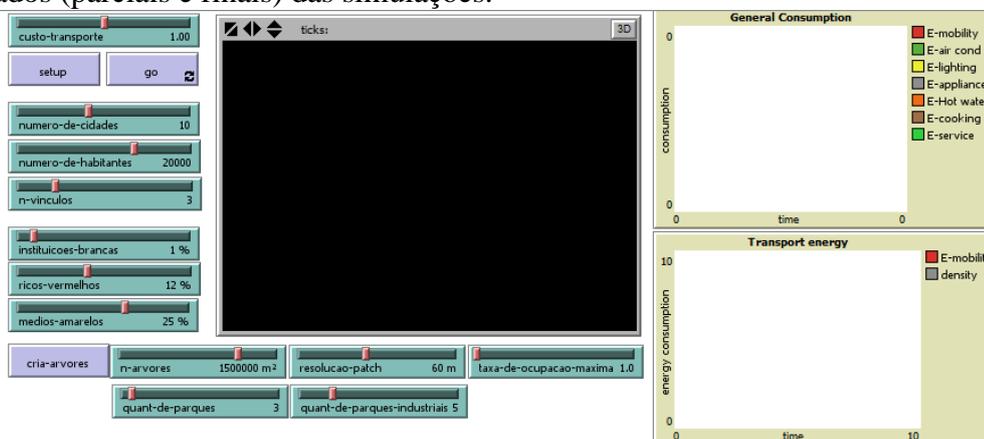


Fig. 1 – Tela para ajustes, cenário e resultados da modelagem.

CARACTERÍSTICAS DO MODELO PROPOSTO

O modelo proposto se baseia em estimar o consumo de energia para 7 categorias de serviços energéticos: (1) iluminação, (2) eletrodomésticos, (3) conforto térmico ambiental, (4) aquecimento de água, (5) cozimento, (6) mobilidade urbana (transporte público e privado) e (7) serviços auxiliares (incluindo iluminação externa, bombeamento de água e transporte vertical – elevadores)

O ajuste inicial é realizado considerando a quantidade de polos atratores na cidade, a quantidade de famílias que habitam a cidade, a quantidade de vínculos entre habitantes e polos atratores, distribuição de classes sociais, ocupação do solo e a resolução do mapa.

A distribuição aleatória das famílias no tabuleiro, das áreas comercial e industrial, bem como o posicionamento dos polos atratores ocorrem na configuração inicial da cidade (fig. 2a),

representando uma cidade de baixa densidade, pois apresenta elevada quantidade de espaços não ocupados entre as famílias e baixa ocupação de cada célula.

Após a disposição inicial dos agentes na cidade virtual é iniciada a dinâmica de evolução da cidade. A dinâmica de evolução é baseada na auto-organização da cidade (Choay 2003), onde os agentes procuram ocupar o melhor espaço da cidade, maximizando seus benefícios. No modelo proposto a melhor posição para um agente é aquela que minimiza a somatória das distâncias entre a localização da família na cidade e seus polos atrativos, respeitando a condição social e a disponibilidade de espaço nas células da cidade.

O consumo de energia de cada agente é medido com periodicidade enquanto ocorre o processo de auto-organização, permitindo que seja contabilizado o consumo energético da cidade em diversas situações de ocupação e de densidade populacional. Com a auto-organização das famílias, existe a tendência à formação de grupos (fig. 2a até 2d), aumentando a densidade populacional da cidade, a qual é limitada pela taxa de ocupação do solo (características da cidade que relacionada a área ocupada com a área total construída sobre o solo).

Durante a dinâmica de auto-organização promovida pelo modelo, as características da cidade (uso do solo, percentual de ocupação do solo, área construída por célula, densidade e temperatura local) variam de acordo com o posicionamento das famílias. Esta variação afeta as características das famílias (distâncias de viagens até os polos atrativos, demanda por serviços energéticos e consumo de energia).

Para que o consumo de energia seja estimado, possibilitando a avaliação das relações entre as características das cidades e o consumo de energia, o modelo proposto considera a evolução da ocupação urbana o metabolismo urbano. Durante o processo de auto-organização da cidade ainda é possível ajustar vários parâmetros iniciais do cenário modelado, sendo possível: (a) inserir áreas verdes, ajustando seu tamanho e posição na cidade; (b) alterar a taxa de ocupação do solo. Ambos os ajustes podem interferir no arranjo da cidade e são ditados por políticas públicas de planejamento urbano.

A inserção de áreas verdes na cidade afeta diretamente o ambiente construído, resultando em mudanças no uso e ocupação do solo e temperatura local. (AMBROSINI et al., 2014; CAVAN et al., 2014; THEEUWES et al., 2014). Estas alterações tem potencial para influencia o consumo direto de energia, pois alteram as distâncias percorridas na cidade e o conforto térmico em edifícios (STEPHAN; CRAWFORD; DE MYTTENAERE, 2012).

Estimativa do consumo direto de energia

Com base nas regras de auto-organização da cidade, o consumo de energia pode ser estimado a qualquer momento da simulação. O consumo é calculado para cada agente (abordagem *bottom up*) e estimado para um dia de consumo, considerando um dia típico da família.

A partir da revisão da literatura acerca do consumo direto de energia, realizada basicamente em publicações dos últimos cinco anos, o consumo de energia foi dividido em sete grupos de serviços energéticos: iluminação interna, eletrodomésticos, conforto térmico, aquecimento de água, cozimento, mobilidade urbana e serviços auxiliares.

Iluminação

O montante de energia consumida para o primeiro grupo de serviços energéticos representa a demanda energética para iluminação interna. O consumo de energia elétrica é calculado com base na equação 1. (REN; PAEVERE; MCNAMARA, 2012).

$$Cons\ illum = \frac{n\ illum}{ef\ illum} \times h \times A\ piso \times \frac{NP}{Nr} \times (1 \sim 1.1) \div 1000 \times 3,6 \frac{MJ}{KWh} \quad (1)$$

Eletrodomésticos

O segundo grupo de serviços energéticos é composto pelos eletrodomésticos. Incluindo: refrigerador, televisão, secadora de roupas, ventiladores e ferro de passar roupas. O tempo

médio de uso para cada eletrodoméstico foi estimado com base nos períodos de utilização disponíveis na literatura (REN; PAEVERE; MCNAMARA, 2012). A potência média utilizada para cada eletrodoméstico foi estimada com base em documentos da ANEEL (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2001). A quantidade de cada eletrodoméstico por residência é distribuído aleatoriamente, no início da simulação, considerando a classe de renda e o tamanho da família (AZEVEDO; CHAPMAN; MULLER, 2016).

O cálculo do consumo energético do segundo grupo é realizado com base na equação 2a, adaptada de (REN et al., 2013), desprezando-se o período de consumo em modo de espera.

$$Cons\ elet = \sum_{i-j}^n pot.\ aparelho \times tempo\ de\ uso \times 3,6 \frac{MJ}{KWh} \quad (2a)$$

Foi aplicado o fator calculado pela fórmula 2b para o uso de televisores.

$$Fcd = \frac{\max\ dist - \min\ dist}{2 \times \sum\ dist} \quad (2b)$$

O efeito da temperatura ambiental no uso de ventiladores, secadoras de roupa e geladeiras é corrigido pelo fator calculado na fórmula 2c.

$$Fct = \frac{temperatura\ local}{menor\ temperatura\ na\ cidade} \quad (2c)$$

O coeficiente *Cuse* foi aplicado ao período de utilização de todos os eletrodomésticos, considerando a probabilidade de utilização dos mesmos, considerando o tamanho da família. O coeficiente foi calculado conforme equação 2d.

$$C\ use = \frac{tamanho\ da\ familia}{tamanho\ da\ maior\ familia\ da\ simulação} \quad (2d)$$

Conforto térmico ambiental

O conforto térmico ambiental interno é o terceiro grupo de serviços energéticos considerado no modelo. Neste estudo foi considerada a necessidade resfriamento do ar, adaptando-o, portanto a regiões tropicais, a exemplo de grande parte do Brasil.

Independente do clima local, a temperatura interna ideal no interior de uma edificação está em torno de 20° C (MARIQUE et al., 2014). O cálculo do consumo de energia desde grupo de serviços energéticos é dado pela equação 3.

$$Consumo - ar = \sum_{i-j}^n A\ do\ piso \times 2,5 \times \Delta t \times 1,23 \frac{MJ}{m^3} \times \frac{tempo\ de\ uso}{dia} \times 0,8 \sim 0,02 \quad (3)$$

A diferença de temperatura interna e externa (Δt) corresponde a diferença entre o resultado da ação das ilhas de calor e a temperatura considerada ideal no interior das edificações, a qual corresponde à 20°C.

Aquecimento de água para banho

O quarto grupo de serviços energético se refere ao aquecimento de água para banho, o qual é realizado por aquecedores elétricos de passagem ou acumulação (chuveiros ou caldeiras) com potência fixa. Portanto o consumo energético destes equipamentos é calculado conforme a potência e o período de uso dos mesmos. O período de utilização é variado, conforme o tamanho da família. A variação da potência dos equipamentos utilizados no aquecimento de água, variando entre 3500W, 4400W ou 6000W (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2001).

Mobilidade urbana

O quinto serviço energético considerado no modelo é a mobilidade urbana. O consumo energético é estimado com base nas distâncias percorridas pelos habitantes entre suas residências e os polos atratores com os quais possuem vínculos. Contudo o consumo está correlacionado com a densidade local, pois a mesma afeta o tempo e consumo de combustível

quando se considera o deslocamento entre a residência e os polos atrativos de cada família. (YE et al., 2015).

O consumo de energia para mobilidade urbana foi calculada conforme apresenta a equação 4.

$$Cons = \sum_{i-j}^n dist.vinculos \times 2 \times \frac{tamanho - familia}{n vinculos} \times 2,196 MJ \times (1 \sim 1.3) \quad (4)$$

Cozimento

Estimar o consumo de energia utilizada em cozimento em uma cidade é uma tarefa difícil, pois há uma gama extensa de técnicas aplicadas nesta prática. (HAGER; MORAWICKI, 2013), além de uma série de equipamentos e fontes energéticas utilizadas (GHEDAMSI et al., 2016). Além do que, quando considerado o comportamento humano, pode-se aumentar em até 100% o consumo de energia para preparo da mesma alimentação (HAGER; MORAWICKI, 2013).

Desta forma, uma abordagem “*bottom-up*”, baseada em (HAGER; MORAWICKI, 2013; GHEDAMSI et al., 2016) foi considerada para estimar o montante de energia consumido para cozimento. O cálculo da demanda energética é realizado com base na equação 5.

$$Ecoz = 1746 MJ \times 3 \times tamanho da familia \times \frac{max_dist}{min_dist + max_dist} \times (1 \sim 2) \quad (5)$$

Serviços auxiliares

O sétimo e último grupo considerado no modelo corresponde aos serviços energéticos auxiliares nas residências, a saber: iluminação externa, bombeamento de água e transporte vertical (elevadores).

A iluminação externa refere-se a iluminação disponível na área externa da edificação, porém ainda em área privada (exclui-se a iluminação pública) e está relacionada ao tamanho da área a ser iluminada. Para cálculo foi considerado o consumo de 5W/m², conforme equação 6.

$$CilmExt = external\ area [m^2] \times \frac{5W}{m^2} \times 3,6 \frac{J}{kWh} \quad (6)$$

O bombeamento de água e uso dos elevadores foi considerado apenas para edifícios que possuem mais do que dois pavimentos. O consumo energético depende da altura da edificação e da quantidade de usuários dos serviços e é calculado conforme a equação 7.

$$Cserv = N\ pisos \times tamanho\ da\ familia \times (2 \sim 7) \frac{viagens}{pessoa} \times ,05 \frac{kw}{floor} \times 3,6 \frac{J}{kWh} \quad (7)$$

Consumo energético total

O consumo de energia direta da cidade é dado a partir da soma do consumo individual de cada família para cada um dos 7 serviços energéticos considerados na simulação.

Com o intuito de avaliar as relações entre as características das cidades e o consumo direto de energia, para cada cidade modelada, o modelo assume que a população da cidade e a área construída são fixas. Desta forma, algumas características da cidade emergem na medida em que a auto-organização ocorre, permitindo acompanhar o consumo energético a cada momento e analisar a causa e consequência das variações.

Os cenários comparativos não consideram a evolução temporal da cidade, mas sim o ajuste espacial, alterando as características da cidades.

Na próxima seção serão apresentados os resultados das simulações realizadas.

3 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Foram selecionados quatro cenários possíveis para as simulações com o intuito de avaliar as relações entre as características das cidades e o consumo direto de energia. Em cada um dos cenários foram mantidos fixos a quantidade de polos atratores, a quantidade de famílias e população, a quantidade de vínculos entre as famílias e os polos atratores e a resolução dos mapas. A condição inicial de cada um dos cenários simulados é dado com a variação da taxa

de ocupação do solo (entre 1 e 4) e da quantidade de áreas verdes de cada cidade (entre 0 e 3), totalizando 64 ajustes possíveis para que a análises dos mesmos possibilite alcançar o objetivo do trabalho. A tabela 1 apresenta os 4 cenários possíveis e seus respectivos valores considerados no ajuste inicial.

Tabela 1 – Características dos arranjos das cidades simuladas

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Polos atratores	5	10	10	20
Famílias	10,000	10,000	20,000	40,000
Habitantes	44,740	44,879	89,763	179,353
Vínculos com polos atratores	3	3	3	3
Taxa de ocupação do solo	1, 2, 3 ou 4			
Resolução do mapa	60 m	60 m	60 m	60m
Áreas verdes	0, 1, 2, ou 3			

Realizada a distribuição aleatória da cidade (Fig. 2a), inicia-se o processo de auto-organização com base na busca do melhor posicionamento para cada habitante (Fig. 2d), respeitando-se os limites de ocupação do solo e a segregação de classes sociais. Configurações espaciais intermediárias são registradas conforme figuras 2b e 2c. O retângulo da figura 2 representa o espaço da cidade considerada pelo modelo. Os pontos cinza são ocupados pelas empresas e indústrias e os pontos coloridos (brancos, vermelhos, amarelos e azuis) representam as famílias. Os polos atratores são representados por círculos.

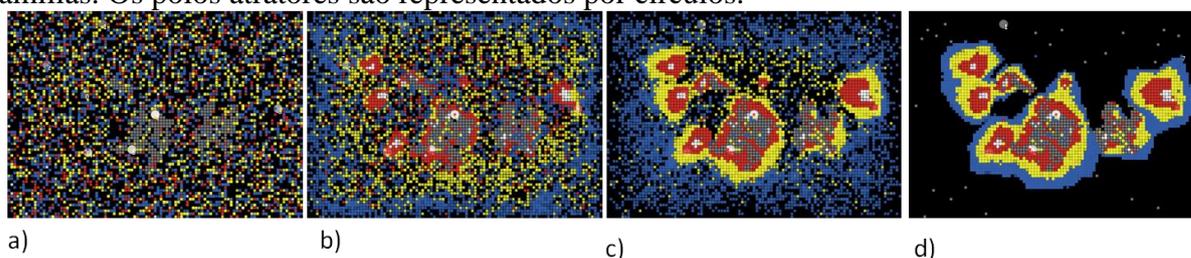


Fig 2 – exemplo de evolução do processo de auto-organização da cidade

A auto-organização da cidade eleva a densidade populacional até o limite máximo estabelecido no ajuste inicial, limitado pela taxa de ocupação do solo. O aumento da densidade favorece o surgimento das ilhas de calor (SU; GU; YANG, 2010). A evolução das ilhas de calor é apresentada nas figuras 3a, b, c e d. A temperatura de cada célula é calculada tomando como base sua posição relativa na cidade, sua densidade, o gabarito de altura das edificações na célula e ao seu redor e a densidade da vizinhança no raio de 300m de distância (CHENG et al., 2015).

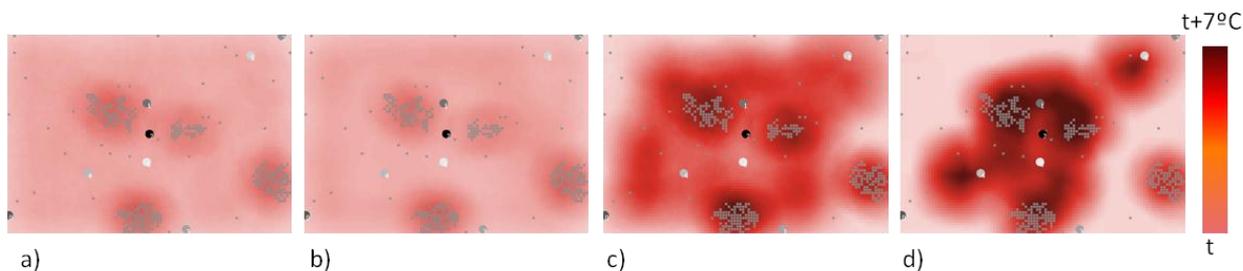


Fig 3 – exemplo da formação das ilhas de calor no decorrer da auto-organização da cidade

A Fig. 4 apresenta a distribuição das áreas comerciais e industriais (células cinza), polos atratores (círculos) e as áreas verdes para os cenários com 0, 1, 2, e 3 áreas verdes (figs 4a, 4b, 4c e 4d respectivamente). As áreas verdes são posicionadas com formatos e posições

aleatórias, determinados nas condições iniciais do modelo, respeitando o estabelecido para cada cenário conforme a tabela 1.

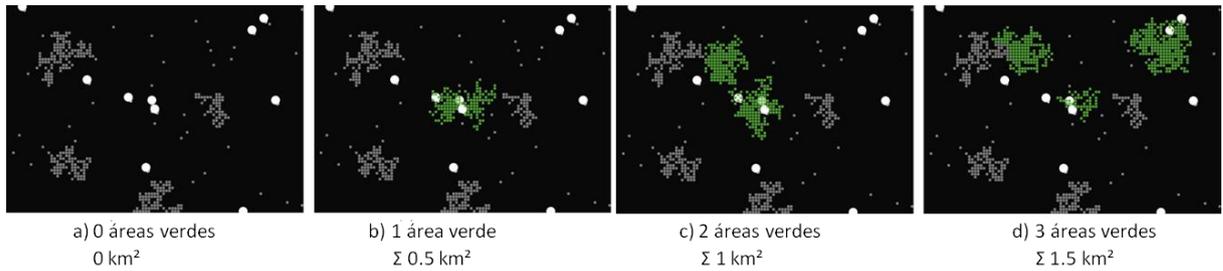


Fig. 4 – Exemplo de posicionamento das áreas verdes nas cidades simuladas para o cenário 1 (pontos verdes no mapa) e as respectivas áreas.

A figura 5 apresenta os resultados obtidos para as 64 simulações realizadas (variação percentual do consumo de energia), comparando os resultados com a condição inicial da modelagem. Nota-se que o consumo direto final de energia aumenta com o aumento da taxa de ocupação do solo e com a inserção de áreas verdes.

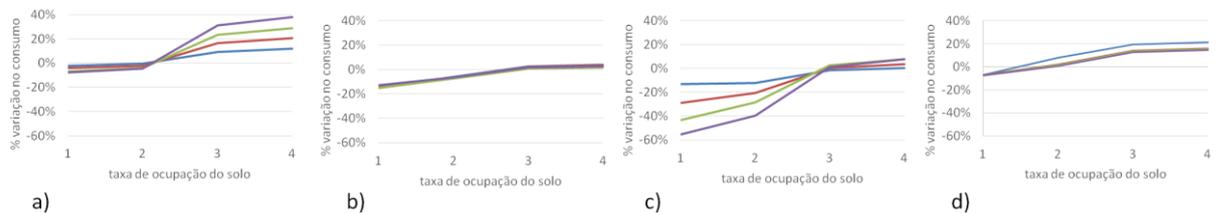


Fig 5 – Variação do consumo total de energia direta para os 64 ajustes realizados quando comparados com a condição inicial aleatória do modelo.

Após todas as simulações, constatou-se que o menor valor per capita de energia direta consumida nas 64 simulações realizadas neste trabalho foi de 21 MJ por pessoas, por dia (cenário 2, taxa de ocupação = 1 e 1 área verde), e o maior valor encontrado foi de 30 MJ por pessoa, por dia (cenário 1, taxa de ocupação = 4 e 0 área verde).

EFEITO DA TAXA DE OCUPAÇÃO DO SOLO NA DEMANDA ENERGÉTICA

A figura 6 apresenta a evolução do consumo direto de energia no cenário 1, sem áreas verdes, quando a taxa de ocupação do solo é ajustada para 1, 2, 3 ou 4 (figs. 5a, 5b, 5c, e 5d respectivamente). O consumo é apresentado de forma desmembrada por categoria de serviço energético e está relacionada à densidade populacional que a cidade atinge com a evolução do processo de auto-organização.

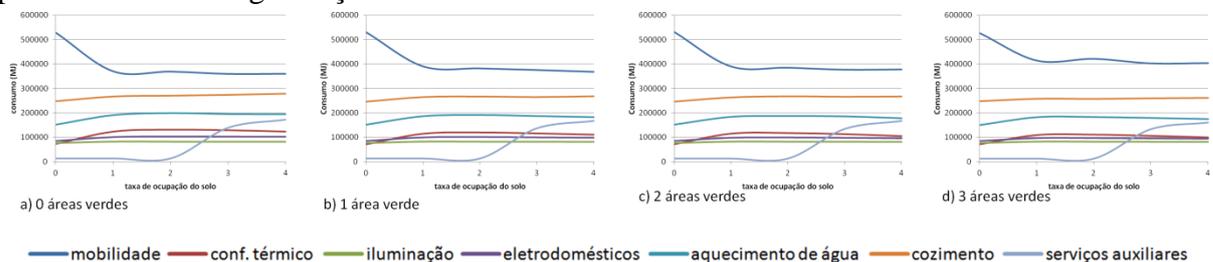


Fig 6 – consumo de energia direta por serviço energético considerando o cenário 1 e ajustando a taxa de ocupação do solo em 1 (a), 2 (b), 3 (c) e 4(d).

A relevância de cada um dos serviços no montante de energia consumida é verificada a cada momento do processo de auto-organização da cidade. A figura 7 apresenta o consumo direto de energia per capita versus a taxa de ocupação de cada um dos 4 cenários simulados (sem áreas verdes). O aumento da taxa de ocupação do solo culmina no aumento da densidade populacional da cidade, promovendo a elevação do consumo per capita de energia direta. O mesmo comportamento é verificado para quando há inserção das áreas verdes

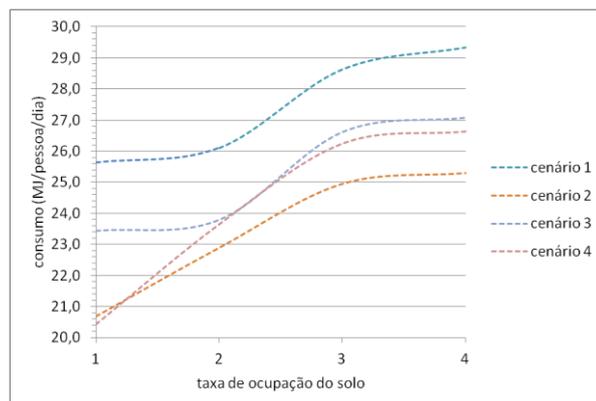


Fig 7 – consumo direto de energia per capita versus a taxa de ocupação do solo para todos os cenários, sem áreas verdes.

EFEITO DAS ÁREAS VERDES NA DEMANDA ENERGÉTICA

A figura 8 apresenta uma análise de sensibilidade para o cenário 1, considerando os resultados das simulações baseadas em cidades com 0 e 3 áreas verdes para as diversas taxas de ocupação do solo.

A figura 8a apresenta o consumo de energia para a mobilidade urbana, a qual permanece praticamente inalterada em relação as taxas de ocupação do solo, porém apresenta aumento do consumo para as cidades onde há mais áreas verdes inseridas.

As figuras 8b, 8c, 8d, e 8e apresentam, respectivamente, as variações de consumo de energia para o conforto térmico ambiental, iluminação interna, eletrodomésticos e aquecimento de água. Estas quatro categorias apresentam declínio no consumo energético para cidades que possuem mais área áreas verdes, bem como para as cidades onde a taxa de ocupação do solo aumenta (cidades com maior densidade populacional).

O efeito das áreas verdes no consumo de energia para os serviços energéticos cozimento e serviços auxiliares é muito modesto, apresentados nas figs. 8f e 8g respectivamente.

A figura 8h apresenta o resultado final, somando-se todos os serviços energéticos considerados nas simulações. Percebe-se discreta diferença entre as duas condições(0 e 3 áreas verdes). Porém baixas taxas de ocupação do solo, a ausência de áreas verdes favorece a diminuição do consumo de energia, e com o aumento da taxa de ocupação do solo, e consequente aumento da densidade urbana, o consumo total direto de energia é menor em cidades onde há mais áreas verdes. Para comparação de todas as possibilidades simuladas, com 0, 1, 2 ou 3 áreas verdes inseridas na cidade quando a taxa de ocupação do solo é ajustada para 1, 2 ,3 ou 4 (variando a densidade da cidade) foi apresentada a figura 9.

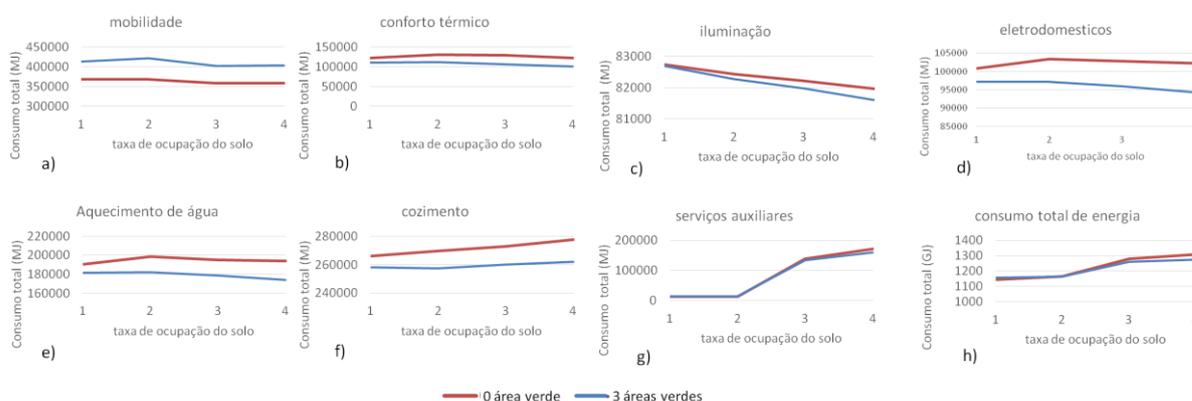


Fig 8 – consumo energético para o cenário 1, 0 e 3 áreas verdes (todas as taxas de ocupação do solo).

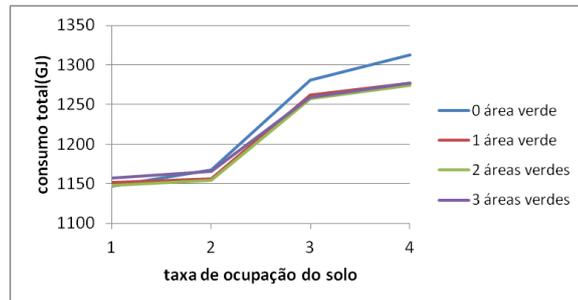


Fig.9 – Consumo direto total de energia versus taxa de ocupação do solo para as cidades do cenário 1 quando há variação na quantidade de áreas verdes inseridas.

EFEITO DOS POLOS ATRADORES NA DEMANDA ENERGÉTICA

A posição e a quantidade de polos atratores alteram o metabolismo urbano (DILLON; SAPHORES; BOARNET, 2015), especialmente no que se refere às distâncias a serem percorridas devido a estratégia das famílias em habitar no ponto mais próximo dos polos atratores com os quais possuem vínculos. A figura 10 compara os cenários 1 e 2, onde há variação da quantidade de polos atratores. O total de energia consumida é menor na cidade onde a quantidade de polos atratores é maior, enquanto que a demanda energética aumenta quando a quantidade de polos atrativos é reduzida pela metade.

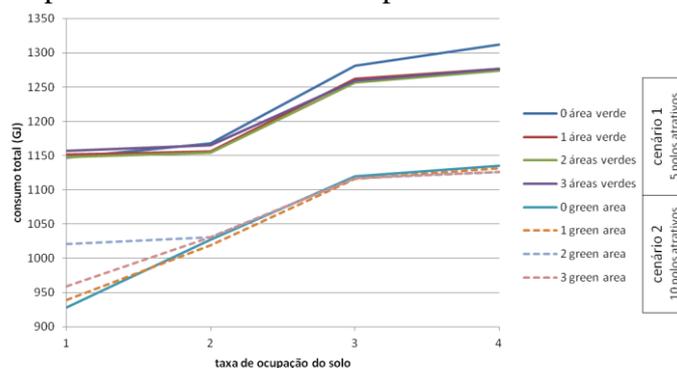


Fig.10 – Total estimado de energia consumida na cidade nas cidades do cenário 1 e 2.

4 DISCUSÃO

Embora o modelo proposto esteja baseado na integração das características das cidades, a análise inicial se dá separadamente, permitindo a compreensão das partes e posteriormente avançando para a compreensão das relações entre as características das cidades e o consumo direto de energia.

O processo de auto-organização da cidade se dá baseada nos princípios norteadores do planejamento urbano, o qual possui capacidade para direcionar a forma urbana (fig.2), a paisagem construída da cidade, o uso e ocupação do solo. Estas características, por sua vez, afeta a densidade populacional (fig.2) e influencia a formação das ilhas de calor nas cidades (fig. 3).

Os resultados das simulações apontam que a maximização do uso e ocupação do solo (direcionada pela taxa de ocupação do solo) aumenta a densidade urbana que culmina na redução do consumo de energia para a mobilidade urbana (Fig. 6). Esta alteração ocorre pelo fato de que o aumento da densidade diminui as distâncias a serem percorridas no interior da cidade, reduzindo o consumo de combustíveis. O percentual economizado de energia depende das áreas verdes da cidade (fig. 8 e 9), da quantidade de polos atrativos disponíveis (fig. 10) e da densidade populacional. Sem a presença das áreas verdes a diferença entre o consumo de energia da população distribuída inicialmente (baixa densidade) e o arranjo final, com a

otimização da ocupação do solo varia de 30% até 56% quando a taxa de ocupação do solo varia entre 1 e 4, respectivamente.

Contudo, o aumento da densidade urbana proporciona a formação das ilhas de calor (KOTHARKAR; SURAWAR, 2016) (Fig. 3), promovendo o aumento da demanda energética para os sistemas de resfriamento de ar (SANTAMOURIS, 2014). A diferença entre o consumo de energia da população distribuída inicialmente (baixa densidade) e o arranjo final, com a otimização da ocupação do solo varia de 39% quando o cenário 2 foi ajustado para taxa de ocupação 1, até 92% quando o cenário 3 foi ajustado com a taxa de ocupação do solo em 3. Ambas as simulações não possuíam áreas verdes.

Foi realizada análise de sensibilidade em todos os cenários, com todos os ajustes, verificando-se que em medias densidades os benefícios da redução do consumo de energia para mobilidade foi cancelado com o aumento pela demanda energética para condicionamento de ar e serviços auxiliares.

No cenário 4, com a maior taxa de ocupação do solo, onde foi medida a densidade de 28.500 hab/km², os serviços auxiliares, no ápice do adensamento foi responsável pelo aumento de 25% no consumo total de energia quando comparado com o ajuste inicial do modelo (cidade com baixa densidade).

Ainda foi possível verificar que o aumento da densidade urbana reflete em aumento do consumo de energia utilizada para os eletrodomésticos e cozimento. Este aumento resulta também da diminuição das distâncias percorridas, visto que as menores distâncias são percorridas em tempo menor, resultando em mais tempo disponível para as atividades no interior da residência, incluindo atividades que envolvem o uso dos eletrodomésticos e cozimento.

As áreas verdes afetam o consumo direto de energia, pois possuem a capacidade de mitigar a formação das ilhas de calor (SUSCA; GAFFIN; DELL'OSSO, 2011). Tanto o tamanho das áreas verdes, quanto suas localizações no plano horizontal da cidade são relevantes, pois o raio de ação de mitigação das ilhas de calor considerado no modelo foi de 300 m. Por outro lado, a inserção de áreas verdes ocupa espaços urbanos e aumenta as distâncias a serem percorridas, aumentando o consumo de energia para a mobilidade urbana (Fig. 8). Ressalva-se que as áreas verdes trazem diversos benefícios às cidades, sobretudo os serviços ambientais, contudo a inserção das áreas verdes aumenta, ainda que de forma discreta, o consumo de energia nas cidades. (Fig. 8).

Ainda como resultado das análises das simulações, o aumento da oferta de polos atratores tende a criar cidades policêntricas, reduzindo o consumo de energia (Fig. 10), devido a diminuição significativa das distâncias percorridas. A fig. 10 mostra que a diminuição dos polos atratores aumenta o consumo de energia. A menor economia verificada nas simulações em que houve apenas alteração dos polos atratores foi de 4%, chegando a 24% para o cenário em que houve maior economia.

5 CONCLUSÃO

A variação da taxa de ocupação do solo, a inserção de áreas verdes e a oferta de polos atrativos nas cidades podem afetar o consumo direto de energia e são fatores relevantes a serem considerados no planejamento e gestão das cidades sustentáveis.

A alteração da taxa de ocupação afeta a densidade populacional e diminui as distâncias a serem percorridas entre as residências e os pontos de interesse dos habitantes, reduzindo, portanto o consumo de energia para mobilidade urbana. Contudo o aumento da densidade propicia a formação das ilhas de calor, aumentando a demanda de energia para sistemas de conforto térmico ambiental interno das residências, além de aumentar, o consumo de energia

para os serviços auxiliares, como o bombeamento de água e uso de elevadores, devido a verticalização da paisagem urbana (construção de edifícios altos).

Contraopondo à taxa de ocupação do solo, a inserção de áreas verdes no ambiente urbano mitiga a formação das ilhas de calor, diminuindo a necessidade de resfriamento dos ambientes e reduzindo a demanda energética para o conforto térmico ambiental interno. Contudo a inserção das áreas verdes segrega a cidade, ocupando o espaço urbano e aumentando as distâncias a serem percorridas entre as residências e os pontos de interesse dos habitantes, resultando no aumento da demanda de energia para a mobilidade urbana.

Independente da densidade populacional, o aumento da oferta de polos atratores, criando cidades policêntricas, diminui as distâncias a serem percorridas pelos habitantes até seus pontos de interesse, reduzindo o consumo de energia para mobilidade, sem que haja impacto direto na formação de ilhas de calor.

Baseado nas premissas consideradas no modelo proposto, as características das cidades, que podem ser orientadas pelo planejamento urbano, influenciam no consumo direto de energia, sobretudo, no aumento da densidade urbana, que implica no aumento do consumo direto total de energia das cidades.

Neste sentido é necessário que seja considerado o efeito bumerangue das ações de planejamento e gestão das cidades, pois o resultado final das ações pode divergir daquele que foi pretendido inicialmente, principalmente quando não há análise sistêmica e complexa entre as características das cidades e o consumo direto de energia.

6 BIBLIOGRAFIA

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **A sua conta de luz por sua conta**. Brasília: ANEEL, 2001.
- ALA-MANTILA, S.; HEINONEN, J.; JUNNILA, S. Relationship between Urbanization, Direct and Indirect Greenhouse Gas Emissions, and Expenditures: A Multivariate Analysis. **Ecological Economics**, v. 104, p. 129–139, ago. 2014.
- AMBROSINI, D.; GALLI, G.; MANCINI, B.; NARDI, I.; SFARRA, S. Evaluating Mitigation Effects of Urban Heat Islands in a Historical Small Center with the ENVI-Met® Climate Model. **Sustainability**, v. 6, n. 10, p. 7013–7029, 10 out. 2014.
- AZEVEDO, J. A.; CHAPMAN, L.; MULLER, C. L. Urban Heat and Residential Electricity Consumption: A Preliminary Study. **Applied Geography**, v. 70, p. 59–67, maio 2016.
- BROWNSTONE, D.; GOLOB, T. F. The Impact of Residential Density on Vehicle Usage and Energy Consumption. **Journal of Urban Economics**, v. 65, n. 1, p. 91–98, jan. 2009.
- BUBECK, S.; TOMASCHEK, J.; FAHL, U. Potential for Mitigating Greenhouse Gases through Expanding Public Transport Services: A Case Study for Gauteng Province, South Africa. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 32, p. 57–69, out. 2014.
- CARLSSON-KANYAMA, A.; ENGSTRÖM, R.; KOK, R. Indirect and Direct Energy Requirements of City Households in Sweden: Options for Reduction, Lessons from Modeling. **Journal of Industrial Ecology**, v. 9, n. 1–2, p. 221–235, 8 fev. 2008.
- CAVAN, G.; LINDLEY, S.; JALAYER, F.; YESHITELA, K.; PAULEIT, S.; RENNER, F.; GILL, S.; CAPUANO, P.; NEBEBE, A.; WOLDEGERIMA, T.; KIBASSA, D.; SHEMDOE, R. Urban Morphological Determinants of Temperature Regulating Ecosystem Services in Two African Cities. **Ecological Indicators**, v. 42, p. 43–57, jul. 2014.
- CHEN, S.; LI, N.; GUAN, J.; XIE, Y.; SUN, F.; NI, J. A Statistical Method to Investigate National Energy Consumption in the Residential Building Sector of China. **Energy and Buildings**, v. 40, n. 4, p. 654–665, jan. 2008.
- CHENG, X.; WEI, B.; CHEN, G.; LI, J.; SONG, C. Influence of Park Size and Its Surrounding Urban Landscape Patterns on the Park Cooling Effect. **Journal of Urban Planning and Development**, v. 141, n. 3, p. A4014002, set. 2015.
- CHOAY, F. **O urbanismo utopias e realidades, uma antologia**. São Paulo: Perspectiva, 2003.

- DHAKAL, S. Urban Energy Use and Carbon Emissions from Cities in China and Policy Implications. **Energy Policy**, v. 37, n. 11, p. 4208–4219, nov. 2009. . Acesso em: 15 jan. 2015.
- DILLON, H. S.; SAPHORES, J.-D.; BOARNET, M. G. The Impact of Urban Form and Gasoline Prices on Vehicle Usage: Evidence from the 2009 National Household Travel Survey. **Research in Transportation Economics**, v. 52, p. 23–33, out. 2015.
- EWING, R.; RONG, F. The Impact of Urban Form on U.S. Residential Energy Use. **Housing Policy Debate**, v. 19, n. 1, p. 1–30, jan. 2008.
- FERTNER, C.; GROBE, J. Compact and Resource Efficient Cities? Synergies and Trade-offs in European Cities. **European Spatial Research and Policy**, v. 23, n. 1, 1 jan. 2016. Disponível em: <<http://www.degruyter.com/view/j/esrp.2016.23.issue-1/esrp-2016-0004/esrp-2016-0004.xml>>. Acesso em: 13 set. 2016.
- FILION, Y. R. Impact of Urban Form on Energy Use in Water Distribution Systems. **Journal of Infrastructure Systems**, v. 14, n. 4, p. 337–346, dez. 2008.
- GAUBE, V.; REMESCH, A. Impact of Urban Planning on Household's Residential Decisions: An Agent-Based Simulation Model for Vienna. **Environmental Modelling & Software**, v. 45, p. 92–103, jul. 2013.
- GHDAMSI, R.; SETTOU, N.; GOUAREH, A.; KHAMOULI, A.; SAIFI, N.; RECIOUI, B.; DOKKAR, B. Modeling and Forecasting Energy Consumption for Residential Buildings in Algeria Using Bottom-up Approach. **Energy and Buildings**, v. 121, p. 309–317, jun. 2016.
- GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia E Meio Ambiente No Brasil. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p. 7–20, abr. 2007.
- HAGER, T. J.; MORAWICKI, R. Energy Consumption during Cooking in the Residential Sector of Developed Nations: A Review. **Food Policy**, v. 40, p. 54–63, jun. 2013.
- HICKMAN, R.; HALL, P.; BANISTER, D. Planning More for Sustainable Mobility. **Journal of Transport Geography**, v. 33, p. 210–219, dez. 2013.
- HOLDEN, M. Is Integrated Planning Any More Than the Sum of Its Parts?: Considerations for Planning Sustainable Cities. **Journal of Planning Education and Research**, v. 32, n. 3, p. 305–318, 1 set. 2012.
- HORNER, M. W. Exploring the Linkages between Transportation, Urban Form, and Energy. **Journal of Transport Geography**, v. 33, p. 207–209, dez. 2013.
- KAMMEN, D. M.; SUNTER, D. A. City-Integrated Renewable Energy for Urban Sustainability. **Science**, v. 352, n. 6288, p. 922–928, 20 maio 2016.
- KO, Y. Urban Form and Residential Energy Use: A Review of Design Principles and Research Findings. **Journal of Planning Literature**, v. 28, n. 4, p. 327–351, 1 nov. 2013.
- KOTHARKAR, R.; SURAWAR, M. Land Use, Land Cover, and Population Density Impact on the Formation of Canopy Urban Heat Islands through Traverse Survey in the Nagpur Urban Area, India. **Journal of Urban Planning and Development**, v. 142, n. 1, p. 4015003, mar. 2016.
- LAZAROIU, G. C.; ROSCIA, M. Definition Methodology for the Smart Cities Model. **Energy**, v. 47, n. 1, p. 326–332, nov. 2012.
- LENZEN, M. Energy and Greenhouse Gas Cost of Living for Australia during 1993/94. **Energy**, v. 23, n. 6, p. 497–516, jun. 1998.
- LIU, C.; SHEN, Q. An Empirical Analysis of the Influence of Urban Form on Household Travel and Energy Consumption. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 35, n. 5, p. 347–357, set. 2011. . Acesso em: 30 out. 2014.
- LIU, X.; SWEENEY, J. Modelling the Impact of Urban Form on Household Energy Demand and Related CO2 Emissions in the Greater Dublin Region. **Energy Policy**, v. 46, p. 359–369, jul. 2012.
- LIU, Y. Relationship between Industrial Firms, High-Carbon and Low-Carbon Energy: An Agent-Based Simulation Approach. **Applied Mathematics and Computation**, v. 219, n. 14, p. 7472–7479, mar. 2013.
- MARETTO, R. V.; ASSIS, T. O.; GAVLAK, A. A. Simulating Urban Growth and Residential Segregation through Agent-Based Modeling. In: **Anais...IEEE**, out. 2010. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6030014>>. Acesso em: 18 abr. 2016.

- MARIQUE, A.-F.; DE MEESTER, T.; DE HERDE, A.; REITER, S. An Online Interactive Tool to Assess Energy Consumption in Residential Buildings and for Daily Mobility. **Energy and Buildings**, v. 78, p. 50–58, ago. 2014.
- MILLER, J. H.; PAGE, S. E. **Complex adaptive systems: an introduction to computational models of social life**. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 2007.
- MINDALI, O.; RAVEH, A.; SALOMON, I. Urban Density and Energy Consumption: A New Look at Old Statistics. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 38, n. 2, p. 143–162, fev. 2004.
- MIZOBUCHI, K.; TAKEUCHI, K. Replacement or Additional Purchase: The Impact of Energy-Efficient Appliances on Household Electricity Saving under Public Pressures. **Energy Policy**, v. 93, p. 137–148, jun. 2016.
- MOLL, H. C.; NOORMAN, K. J.; KOK, R.; ENGSTRÖM, R.; THRONE-HOLST, H.; CLARK, C. Pursuing More Sustainable Consumption by Analyzing Household Metabolism in European Countries and Cities. **Journal of Industrial Ecology**, v. 9, n. 1–2, p. 259–275, 8 fev. 2008.
- MOTA, F. P.; ROSA, V.; BOTELHO, S. S. da C.; SANTOS, I.; DIMURO, G. Simulating the Consumers' Energy Profiles Using Multiagent Systems. In: **Anais...IEEE**, set. 2013. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6855881>>. Acesso em: 2 set. 2016.
- PAGLIARA, F. (ed.). **Residential location choice: models and applications**. Berlin: Springer, 2010.
- PAPASTAMATIOU, I.; DOUKAS, H.; SPILIOTIS, E.; PSARRAS, J. How “OPTIMUS” Is a City in Terms of Energy Optimization? E-SCEAF: A Web Based Decision Support Tool for Local Authorities. **Information Fusion**, v. 29, p. 149–161, maio 2016.
- PETERS, G. P.; HERTWICH, E. G. CO₂ Embodied in International Trade with Implications for Global Climate Policy. **Environmental Science & Technology**, v. 42, n. 5, p. 1401–1407, mar. 2008.
- PORTUGALI, J. **Complexity, cognition and the city**. Heidelberg ; New York: Springer, 2011.
- REINDERS, A. H. M. E.; VRINGER, K.; BLOK, K. The Direct and Indirect Energy Requirement of Households in the European Union. **Energy Policy**, v. 31, n. 2, p. 139–153, jan. 2003.
- REITER, S.; MARIQUE, A.-F. Toward Low Energy Cities: A Case Study of the Urban Area of Liège, Belgium. **Journal of Industrial Ecology**, v. 16, n. 6, p. 829–838, dez. 2012.
- REN, Z.; FOLIENSTE, G.; CHAN, W.-Y.; CHEN, D.; AMBROSE, M.; PAEVERE, P. A Model for Predicting Household End-Use Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions in Australia. **International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development**, v. 4, n. 3, p. 210–228, set. 2013.
- REN, Z.; PAEVERE, P.; MCNAMARA, C. A Local-Community-Level, Physically-Based Model of End-Use Energy Consumption by Australian Housing Stock. **Energy Policy**, v. 49, p. 586–596, out. 2012.
- RICHARDSON, I.; THOMSON, M.; INFIELD, D. A High-Resolution Domestic Building Occupancy Model for Energy Demand Simulations. **Energy and Buildings**, v. 40, n. 8, p. 1560–1566, jan. 2008.
- RICKWOOD, P. Residential Operational Energy Use. **Urban Policy and Research**, v. 27, n. 2, p. 137–155, jun. 2009.
- SANTAMOURIS, M. Cooling the Cities – A Review of Reflective and Green Roof Mitigation Technologies to Fight Heat Island and Improve Comfort in Urban Environments. **Solar Energy**, v. 103, p. 682–703, maio 2014.
- STEPHAN, A.; CRAWFORD, R. H.; DE MYTTENAERE, K. Towards a Comprehensive Life Cycle Energy Analysis Framework for Residential Buildings. **Energy and Buildings**, v. 55, p. 592–600, dez. 2012.
- SU, W.; GU, C.; YANG, G. Assessing the Impact of Land Use/Land Cover on Urban Heat Island Pattern in Nanjing City, China. **Journal of Urban Planning and Development**, v. 136, n. 4, p. 365–372, dez. 2010.
- SUSCA, T.; GAFFIN, S. R.; DELL’OSSO, G. R. Positive Effects of Vegetation: Urban Heat Island and Green Roofs. **Environmental Pollution**, v. 159, n. 8–9, p. 2119–2126, ago. 2011.
- TAHA, H. Urban Climates and Heat Islands: Albedo, Evapotranspiration, and Anthropogenic Heat. **Energy and Buildings**, v. 25, n. 2, p. 99–103, jan. 1997.

- THEEUWES, N. E.; STEENEVELD, G. J.; RONDA, R. J.; HEUSINKVELD, B. G.; VAN HOVE, L. W. A.; HOLTSLAG, A. A. M. Seasonal Dependence of the Urban Heat Island on the Street Canyon Aspect Ratio: Street Geometry and the Urban Heat Island. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 140, n. 684, p. 2197–2210, out. 2014.
- T'SERCLAES, P. de; DEVERNOIS, N.; INTERNATIONAL ENERGY AGENCY; AGENCE FRANÇAISE DE DÉVELOPPEMENT; ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (ed.). **Promoting energy efficiency investments: case studies in the residential sector**. Paris: OECD/IEA and AFD, 2008.
- TSO, G. A Study of Domestic Energy Usage Patterns in Hong Kong. **Energy**, v. 28, n. 15, p. 1671–1682, dez. 2003.
- WANG, Q. Effects of Urbanisation on Energy Consumption in China. **Energy Policy**, v. 65, p. 332–339, fev. 2014.
- WIER, M.; LENZEN, M.; MUNKSGAARD, J.; SMED, S. Effects of Household Consumption Patterns on CO₂ Requirements. **Economic Systems Research**, v. 13, n. 3, p. 259–274, set. 2001.
- XU, Q.; CHEN, Q.; MA, J.; BLANCKAERT, K.; WAN, Z. Water Saving and Energy Reduction through Pressure Management in Urban Water Distribution Networks. **Water Resources Management**, v. 28, n. 11, p. 3715–3726, set. 2014.
- YAO, R.; STEEMERS, K. A Method of Formulating Energy Load Profile for Domestic Buildings in the UK. **Energy and Buildings**, v. 37, n. 6, p. 663–671, jun. 2005.
- YE, H.; HE, X.; SONG, Y.; LI, X.; ZHANG, G.; LIN, T.; XIAO, L. A Sustainable Urban Form: The Challenges of Compactness from the Viewpoint of Energy Consumption and Carbon Emission. **Energy and Buildings**, v. 93, p. 90–98, abr. 2015.
- YIN, Y.; MIZOKAMI, S.; MARUYAMA, T. An Analysis of the Influence of Urban Form on Energy Consumption by Individual Consumption Behaviors from a Microeconomic Viewpoint. **Energy Policy**, v. 61, p. 909–919, out. 2013.
- YONGLING, Y. Energy Consumption and Space Density in Urban Area. **Energy Procedia**, v. 5, p. 895–899, 2011.
- YUN, G. Y.; STEEMERS, K. Behavioural, Physical and Socio-Economic Factors in Household Cooling Energy Consumption. **Applied Energy**, v. 88, n. 6, p. 2191–2200, jun. 2011.
- ZHANG, Y.; ZHENG, H.; FATH, B. D. Analysis of the Energy Metabolism of Urban Socioeconomic Sectors and the Associated Carbon Footprints: Model Development and a Case Study for Beijing. **Energy Policy**, v. 73, p. 540–551, out. 2014.
- ZHAO, X.; LI, N.; MA, C. Residential Energy Consumption in Urban China: A Decomposition Analysis. **Energy Policy**, v. 41, p. 644–653, fev. 2012.