

MODELO BASEADO EM AGENTES PARA SIMULAÇÃO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM FUNÇÃO DO COMPORTAMENTO HUMANO

JOÃO EMMANUEL D' ALKMIN NEVES¹

RESUMO

Diversos modelos probabilísticos visam simular o consumo de energia elétrica. Todavia, a maioria desses modelos ignoram o desperdício de energia elétrica nesses cenários em função do comportamento humano. Esse estudo propõe uma abordagem que utiliza modelos baseados em agentes para simular o consumo de energia elétrica em função das ações humanas em suas residências. A simulação baseada em agentes é ideal para cenários complexos, como nesse caso, uma vez que o hábito das pessoas é um fator de complexa mensuração. Essa abordagem visa produzir resultados mais realistas, uma vez que se baseia em dados reais com os padrões de consumo de energia elétrica de brasileiros. Os resultados mostram que os modelos baseados em agentes aperfeiçoam as limitações dos modelos probabilísticos existentes. E, além disso, o modelo proposto nesse estudo demonstra que o comportamento humano apresenta diversos níveis de consciência de consumo de energia elétrica e isso ocasiona impactos diretos.

Palavras-chave: Comportamento humano, Desperdício de energia elétrica, Modelo baseado em agentes.

ABSTRACT

Several probabilistic models aim to simulate the consumption of electric energy. However, most of these models ignore the waste of electrical energy in these scenarios due to human behavior. This study proposes an approach that uses agent-based models to simulate the consumption of electrical energy as a function of human actions in their homes. Agent-based simulation is ideal for complex scenarios, as in this case since people's habit is a factor of complex measurement. This approach aims to produce more realistic results, since it is based on real data with the patterns of electricity consumption by Brazilians. The results show that the agent-based models improve the limitations of the existing probabilistic models. In addition, the model proposed in this study demonstrates that human behavior has different levels of awareness of electricity consumption, and this causes direct impacts.

Key words: Human behavior, Electric energy waste, Agent-based model.

¹ Mestre em Tecnologia da Informação pela Universidade Estadual de Campinas - jeneves@gmail.com

INTRODUÇÃO

Atualmente grande parte do consumo de energia elétrica nas residências é causado pelo desperdício em função dos hábitos do comportamento humano, por exemplo, deixar aparelhos e luzes acesos quando não estão em uso (RICHARDSON et al., 2010). Em virtude disso, é crucial alertar sobre o hábito das pessoas para combater esse desperdício, especialmente com as atuais preocupações voltadas para um consumo consciente do uso da matriz energética no planeta.

Para analisar o consumo de energia elétrica e o efeito do comportamento humano, alguns modelos probabilísticos de simulação têm sido propostos (BALEST et al., 2019), onde simulam as atividades dos ocupantes por meio de distribuições de probabilidade e, em seguida, obtém como resultado o consumo de energia elétrica dos aparelhos elétricos (BELLI et al., 2020). No entanto, esses modelos não simulam o desperdício de energia elétrica dos ocupantes (CHOU et al., 2020), uma vez que assumem um comportamento humano ideal e consideram que todos possuem costumes idênticos, quando na verdade, as pessoas têm diferentes hábitos de consumo (BALEST et al., 2019).

Este estudo propõe uma abordagem comparativa de simulação utilizando os Modelos Baseados em Agentes. Abordagens baseadas em Modelos Baseados em Agentes visam modelar cenários complexos, tais como o comportamento humano. Nesses modelos, os consumidores de energia elétrica são modelados como entidades computacionais que tomam decisões ao interagir com seu ambiente (aparelhos elétricos) e outras pessoas. E, assim, esse estudo visa obter um modelo que aperfeiçoe as limitações dos modelos probabilísticos de simulação, bem como, simular diferentes níveis de consciência de consumo de energia elétrica das pessoas.

MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente são abordados os fundamentos dos Modelos Probabilísticos e Modelos Baseados em Agentes e, por meio disso, esse estudo visa estabelecer as principais diferenças e aplicações desses modelos. Essa ação é efetivada através de uma pesquisa bibliográfica exploratória, ou seja, é elaborada baseando-se em material publicado para fundamentar teoricamente o estudo (GIL, 2010).

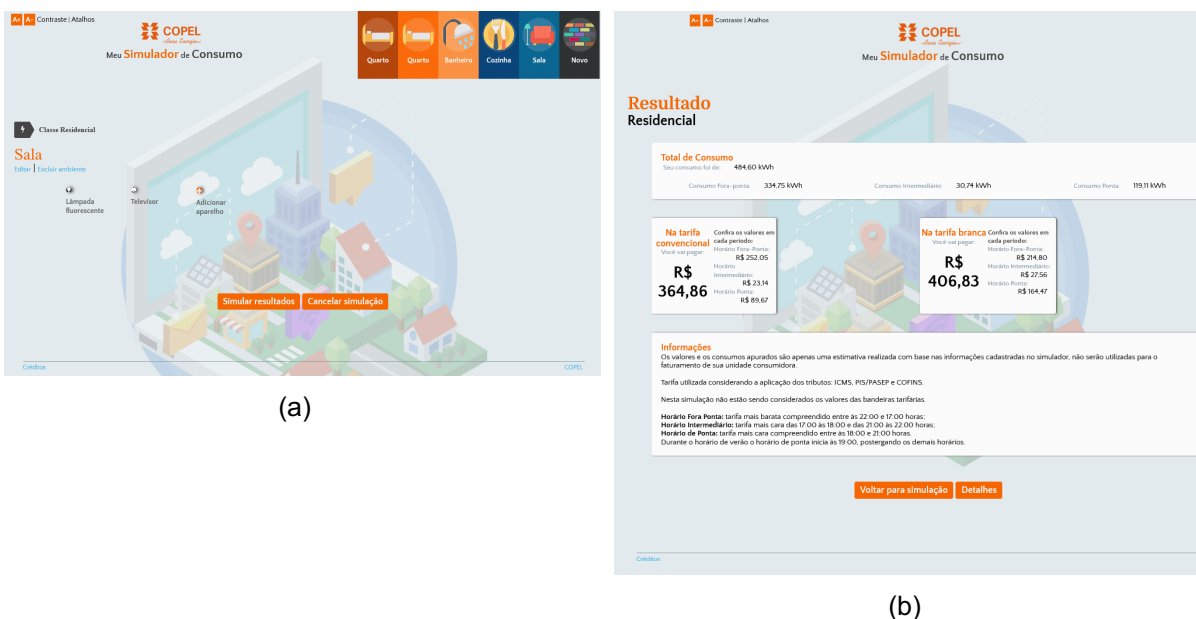
Os Modelos Probabilísticos (MP) têm sido utilizados para prever a demanda de energia elétrica em residências. Esses modelos, que são amplamente utilizadas para simulação em sítios da Internet das empresas concessionárias de distribuição de energia elétrica no Brasil (ENEL, COPEL, entre outros), utilizam os tipos de aparelhos, a quantidade dos equipamentos, o consumo de energia elétrica de cada equipamento e o tempo de uso dos dispositivos para, assim, calcular o consumo de energia em residências (RICHARDSON et al., 2010).

Embora os Modelos Probabilísticos produzam dados que intentem modelar o desperdício de energia elétrica, esses modelos, por fim, apenas reproduzem as atividades dos ocupantes e o consumo de energia elétrica (BELLI et al., 2020). Isso ocorre porque esses modelos seguem um processo de geração de dados linear onde os dados de ocupação e atividade são gerados e então usados para gerar o consumo de eletricidade resultante. Este processo linear não é indicado para modelar processos dinâmicos devido a sua não linearidade e pode mudar com base em vários atributos individuais e ambientais (CHOU et al., 2020). Os Modelos Probabilísticos assumem que todos os ocupantes são iguais e consomem energia elétrica de maneira ideal; ou seja, a energia elétrica é consumida apenas quando os ocupantes estão disponíveis em casa ou realizando alguma atividade. No entanto, o comportamento humano é mais complexo e ignorar os diferentes níveis de consciência sobre o uso de energia elétrica causa uma subestimação do consumo dessa energia em comparação com os dados reais de alguns estudos. Por exemplo os pesquisadores Belli et al. (2020) observaram em seu estudo que há mais consumo a noite nos dados reais em comparação com os dados simulados e

| | |
|--|-------------------------------|
| Modelo baseado em agentes para simulação de desperdício de energia elétrica em função do comportamento humano. | João Emmanuel D' Alkmin Neves |
|--|-------------------------------|

atribuíram isso aos ocupantes que deixam as luzes acesas enquanto dormem. Um exemplo de simulador baseado em modelos probabilísticos é disponibilizado no sítio eletrônico da COPEL, que é uma empresa concessionária de distribuição de energia elétrica no Brasil localizada no estado do Paraná, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1. Simulador da COPEL baseado em Modelo Probabilístico. (a) Tela Inicial. (b) Resultado.



Fonte: COPEL (2021).

Os Modelos Baseados em Agentes (MBA) podem ser utilizados em inúmeras áreas do conhecimento, tais como Ciências Ambientais e Ciências Sociais e, sua utilização têm se expandido rapidamente. Para González-Briones et al. (2018) isso ocorre, principalmente, pois: a) os atuais sistemas que precisam ser analisados apresentam complexas correlações entre os termos de suas interdependências; b) o elevado grau de dificuldade para se modelar esses sistemas; c) o grande volume de dados para a elicitação de indicadores assertivos e próximos a realidade e; d) o elevado poder computacional da contemporaneidade. De acordo com Zhou et al. (2018) os agentes podem ser considerados programas que são capazes de perceber

o ambiente que se encontram por intermédio de sensores e interagir com esse ambiente através de atuadores. Para Jaxa-Rozen et al. (2019), um agente deve apresentar as características: a) ser identificável e com um conjunto de regras que governam o seu comportamento e a sua capacidade de tomada de decisões; b) ser orientado por objetivos; c) habitar um ambiente e nele interagir, d) apresentar interações com outros agentes; e, e) ser flexível, autônomo e ter habilidades para aprender e adaptar seu comportamento através das experiências ao longo do tempo.

Tendo em vista isso, para González-Briones et al. (2018), os Modelos Baseados em Agentes apresentam características que superam a abordagem linear dos Modelos Probabilísticos, possibilitando uma modelagem dinâmica, inclusive do comportamento humano, onde os agentes ocupantes tomam decisões com base em suas características pessoais e no estado do ambiente. A partir dessa perspectiva, torna-se possível a modelagem dos diferentes níveis de consumo de energia elétrica a partir das ações humanas, o que permite a simulação de diferentes cenários. Sendo assim, os Modelos Baseados em Agentes podem modelar a interação ocupante-aparelho e variar a percepção da energia no nível do ocupante. E, com isso, a vantagem de tais modelos é a simulação mais detalhada e realista dos moradores, bem como os fatores que afetam o consumo de energia elétrica no ambiente das residências, sejam esses fatores físicos, sociais ou outros (ZHOU et al., 2018). É possível, também, aliar os Modelos Baseados em Agentes com grandes volumes de dados para garantir que as simulações sejam mais realistas, pois são modeladas a partir de indicadores reais que estão contidos nos dados (GONZÁLEZ-BRIONES et al., 2018).

O Modelo Baseado em Agente proposto neste estudo é modelado e simulado utilizando a linguagem de programação e o programa NetLogo. Essa plataforma possibilita explorar a conexão das interações locais entre os indivíduos (agentes), o ambiente e simular os padrões macros emergentes dessas interações (MUSAEUS; MUSAEUS, 2019). A modelagem é realizada a partir de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e da Agência Nacional de Energia Elétrica sobre as famílias e atividades de consumo de energia elétrica, tais como idade dos

| | |
|--|-------------------------------|
| Modelo baseado em agentes para simulação de desperdício de energia elétrica em função do comportamento humano. | João Emmanuel D' Alkmin Neves |
|--|-------------------------------|

ocupantes, tipos de emprego entre outros. O modelo desenvolvido simula a ocupação e atividades mais realistas, uma vez que a modelagem é realizada a partir de dados reais. Além disso, possibilita aos ocupantes a realização de uma atividade por vez, inclui as atividades que estão relacionadas ao uso de dispositivos que utilizam energia elétrica e distingue as diferentes atividades realizadas. Os ocupantes e os aparelhos elétricos atuam em um ambiente residencial composto por cômodos. Esses cômodos afetam a mobilidade e o número de locais onde os ocupantes podem estar e, conseqüentemente, o consumo de energia elétrica. No presente estudo, cada família reside em uma casa com 80 m², contendo os seguintes cômodos: uma cozinha, uma sala, dois quartos e um banheiro. Além disso, a residência apresenta luzes em todos os cômodos.

Tabela 1. Informações sobre os Dispositivos

| Dispositivos | Quantidade | Potência (W) | Cômodo |
|----------------------|------------|--------------|----------|
| Lâmpada Fluorescente | 1 | 60 | Sala |
| Lâmpada Fluorescente | 1 | 60 | Quarto 1 |
| Lâmpada Fluorescente | 1 | 60 | Quarto 2 |
| Lâmpada Fluorescente | 1 | 60 | Cozinha |
| Lâmpada Fluorescente | 1 | 60 | Banheiro |
| Televisão | 1 | 250 | Sala |
| Computador | 1 | 200 | Quarto 1 |
| Geladeira | 1 | 300 | Cozinha |
| Chuveiro | 1 | 5.500 | Banheiro |

Fonte: Autor (2021).

Os aparelhos elétricos foram modelados como agentes estáticos controlados por agentes ocupantes, que respondem às ações desses ocupantes para alterar seu estado de ligado para desligado ou vice-versa. Em cada momento, cada aparelho elétrico registra a quantidade de energia elétrica consumida com base em seu estado. Cada família teve atribuído um conjunto de aparelhos elétricos, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Esses aparelhos elétricos, assim como a iluminação elétrica estão indicados na

Tabela 1.

A modelagem do ambiente de simulação <A> foi definido como <T, C, Ed>, onde:

- $\langle T \rangle$ é o tempo da simulação em 1 ano, que é definido por $\langle t, d, l \rangle$. Onde $\langle t \rangle$ é um intervalo de tempo de 10 minutos em cada dia, $\langle d \rangle$ é o dia composto por 24 horas e $\langle l \rangle$ é a quantidade de luz natural do dia.
- $\langle C \rangle$ é o conjunto de cômodos. Cada cômodo é definido por $\langle m, Ac, Oc \rangle$. Onde $\langle m \rangle$ é a metragem do cômodo, $\langle Ac \rangle$ é o conjunto de aparelhos do cômodo e $\langle Oc \rangle$ é o conjunto de ocupantes que estão no cômodo.
- $\langle Ed \rangle$ é o conjunto de eletrodomésticos. Cada eletrodoméstico é definido pelo conjunto $\langle e, p, Oa, Ea \rangle$. Onde $\langle e \rangle$ é a quantidade de energia usada quando o dispositivo está ligado, $\langle p \rangle$ é o cômodo em que o aparelho está, $\langle Oa \rangle$ é o conjunto de ocupantes que usam o eletrodoméstico e $\langle Ea \rangle$ é a matriz de consumo do eletrodoméstico ao longo de um ano inteiro.

A modelagem dos ocupantes inclui diferentes perfis de comportamento com relação ao consumo de energia elétrica para assim verificar a diminuição ou aumento gerado e, com isso, detectar hábitos que acarretam um desperdício de energia elétrica nas residências. Os atributos que modelam essa consciência de consumo de energia elétrica, juntamente com as atividades dos ocupantes e a hora, são usados para controlar quando os ocupantes ligam ou desligam os aparelhos elétricos e as luzes. As idades dos ocupantes e os tipos de emprego são fornecidos como dados de entrada para o modelo. Os tipos de emprego incluem: trabalho em tempo integral, trabalho em tempo parcial, desempregado, aposentado (acima de 65 anos) e estudante (menores de 18 anos). A cada etapa, os ocupantes mudam o estado do ambiente, mudam a sua localização e usam os eletrodomésticos. Para efetuar a modelagem dos ocupantes foram analisadas e realizadas as seguintes considerações:

1. **Comportamento do ocupante:** Antes de simular a ocupação, as rotinas de trabalho e os padrões de ocupação são atribuídos a cada ocupante. A cada momento, o ocupante seleciona um novo estado de ocupação. O agente primeiro seleciona um novo estado em função de seu padrão de ocupação, estado anterior e hora do dia. A simulação distingue entre atividades que podem ser realizadas por um ocupante de cada vez e atividades que podem ser realizadas por todos os ocupantes e podem ser

compartilhadas. Quando o ocupante está ativo, ele pode selecionar iniciar uma atividade pessoal/grupo ou diminuir a duração de uma atividade em andamento. Essa forma de modelagem permite que o ocupante execute mais de uma atividade por vez. A decisão de realizar uma atividade é baseada na idade do ocupante, tipo de emprego, hora do dia e o dia da semana. A cada nova atividade que for selecionada para ser realizada, o agente seleciona a duração da atividade.

2. **Localização do ocupante:** Sempre que o ocupante estiver no estado Ativo ou Dormindo, significa que deve estar em um dos cômodos da casa. Cada atividade recebe os cômodos possíveis. Se o ocupante estiver fazendo mais de uma atividade ao mesmo tempo, ele apresenta cômodos possíveis e a sua localização alterna entre esses cômodos a cada intervalo de tempo.

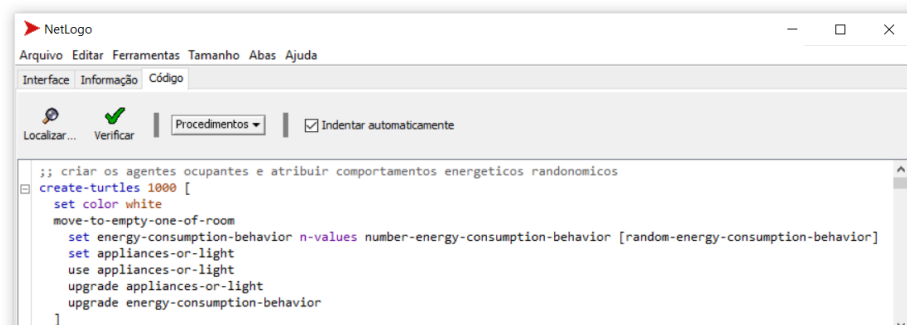
3. **Consciência do Consumo de Energia Elétrica do Ocupante:** A consciência do consumo da energia elétrica dos ocupantes foi modelada com variações baseadas na literatura existente. Com base no tipo de consumidor, o atributo de consciência consumo da energia elétrica do agente é atribuído a um valor entre 0 e 100. Este atributo é usado para decidir a probabilidade de um ocupante seguir ações de economia de energia elétrica, como desligar os dispositivos quando não estiverem em uso. O valor é calculado com base em uma distribuição normal para cada tipo de consumidor. Quando o ocupante inicia uma atividade, liga o aparelho elétrico associado a esta atividade. Quando a atividade terminar e com base na consciência do consumo da energia elétrica do ocupante, ele pode desligar o aparelho elétrico ou mantê-lo ligado. O ocupante também pode comunicar-se com outro(s) ocupante(s) que podem estar usando o mesmo aparelho elétrico ao mesmo tempo para decidir se o desliga. A ação de desligar os aparelhos elétricos também é executada sempre que um ocupante visita um cômodo e encontra aparelhos que estão ligados, mas não utilizados. A ação de ligar/desligar as luzes é diferente do uso dos aparelhos elétricos, pois o uso de luzes depende da quantidade de luz do dia e da localização dos ocupantes. Cada vez que o ocupante está em um local, ele pode decidir acender a luz nesse cômodo com base na quantidade de luz do dia.

Quando o ocupante sai do local, verifica se há mais ocupantes, e com base na sua consciência de consumo da energia elétrica pode decidir desligar ou não a luz.

A partir dessas considerações, o agente ocupante <O> é modelado e definido pelo conjunto <i, o, aa, ap, dr, ce, Tpc, Lc> onde:

- <i> é a idade do ocupante.
- <o> define a ocupação do ocupante e pode ser: empregado, desempregado, estudante, aposentado.
- <aa> informa a atividade atual que o ocupante está executando em relação ao(s) eletrodoméstico(s).
- <ap> é atividade prévia que o ocupante estava realizando em relação ao(s) eletrodoméstico(s).
- <dr> informa a duração da atividade que o ocupante executou no eletrodoméstico.
- <ce> define o comportamento energético do ocupante, que pode ser gastador, normal ou econômico.
- <Tpc> informa o conjunto de tarefas pessoais contínuas e possíveis que o ocupante pode executar.
- <Lc> demonstra a localização do cômodo em que o ocupante se encontra.

Figura 2. Trecho do código de programação do modelo proposto implementado no NetLogo.



```

;; criar os agentes ocupantes e atribuir comportamentos energeticos randonomicos
create-turtles 1000 [
  set color white
  move-to-empty-one-of-room
  set energy-consumption-behavior n-values number-energy-consumption-behavior [random-energy-consumption-behavior]
  set appliances-or-light
  use appliances-or-light
  upgrade appliances-or-light
  upgrade energy-consumption-behavior
]

```

Fonte: Autor (2021).

A Figura 2 demonstra um trecho de código de programação do modelo baseado em agentes proposto nesse estudo desenvolvido de acordo com as Revista Eletrônica Anima Terra, Faculdade de Tecnologia de Mogi das Cruzes – FATEC-MC. Mogi das Cruzes-SP., nº12, ano VI, p.89-103, 1º semestre, 2021. ISSN 2526-1940.

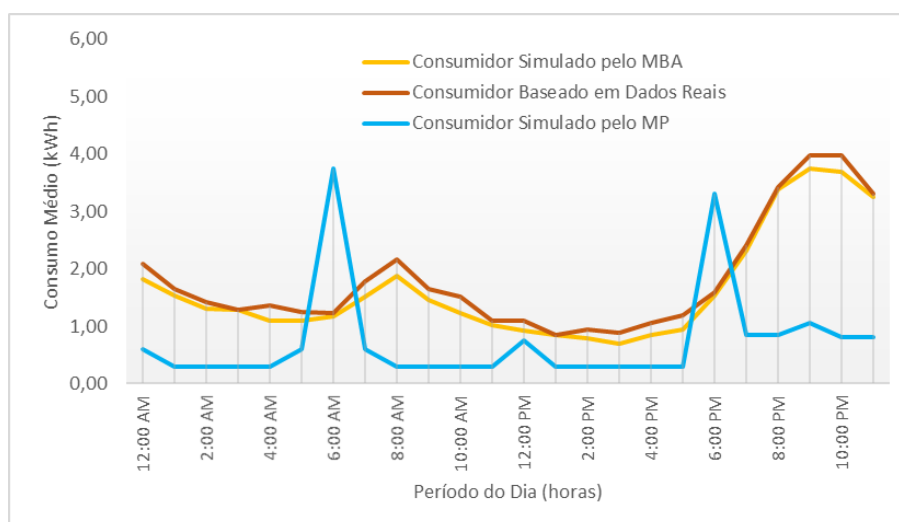
instruções acima e implementado na plataforma NetLogo 6.1. Uma CPU Intel Core i5-5250U a 1,60 GHz, 8,0 GB de RAM, Windows 10, computador de 64 bits foi usada para realizar as simulações.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

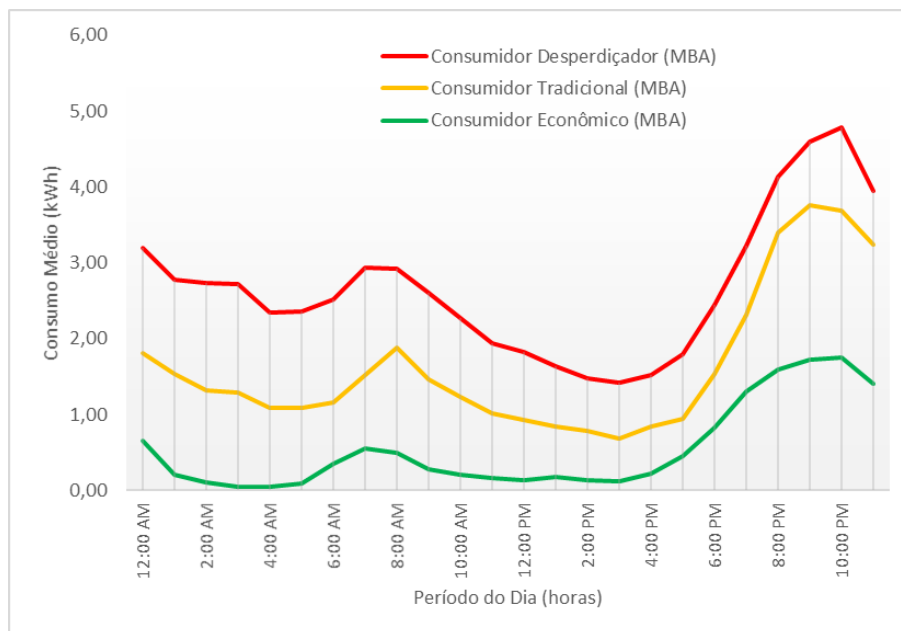
Esta seção apresenta dois Estudos de Caso que visam testar a validade do modelo desenvolvido e analisar o comportamento humano relacionado a consciência de consumo da energia elétrica. No Estudo de Caso 1 foi considerado uma residência com dois ocupantes com idades variadas e ambos trabalhando em tempo integral. E o Estudo de Caso 2 foi considerado uma residência com dois ocupantes com idades variadas sendo um trabalhando em tempo integral e outro desempregado.

Estudo de Caso 1

Figura 3. Simulação do Estudo de Caso 1. (a) MBA, MP e Real (b) Consciência de Consumo.



(a)



(b)

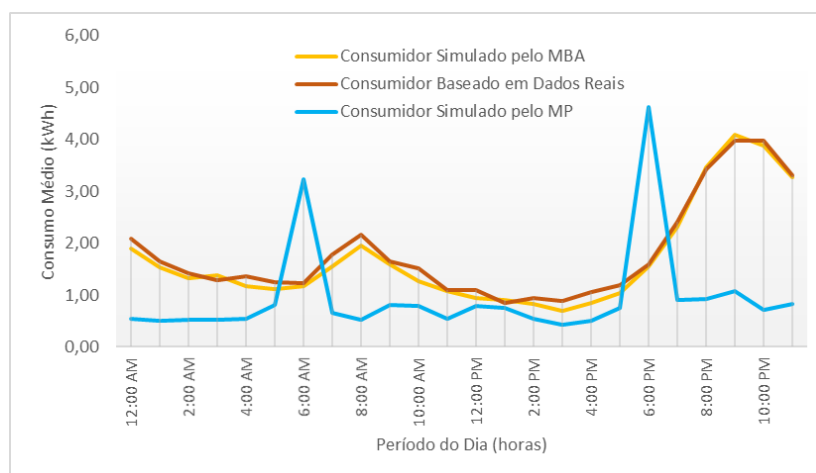
Fonte: Autor (2021).

A Figura 3a demonstra o consumo diário de energia elétrica, considerando a média dos dias da semana durante o período de um ano, comparando o consumo de energia elétrica entre os dados reais obtidos no sítio eletrônico da ANEEL, os dados simulados utilizando o Modelo Probabilístico (MP) obtidos no sítio eletrônico da COPEL e os dados simulados utilizando o Modelo Baseado em Agentes (MBA) proposto por esse estudo. Observa-se que a linha marrom (consumo médio baseado em dados reais) e a linha laranja (consumo médio baseado em dados simulados através de MBA) estão com as curvas convergindo em diversos pontos, demonstrando que os valores reais estão muito próximos aos valores simulados através de MBA. Esses resultados comprovam a validade do modelo implementado, que produz tendências de consumo de energia elétrica semelhantes ao modelo que foi construído a partir de dados reais. Por outro lado, a linha azul (consumo médio baseado em dados simulados através do MP) apresenta uma grande divergência dos dados reais, demonstrando que esse tipo de simulação não reflete com precisão a realidade do consumo de energia elétrica. A Figura 3b demonstra a comparação

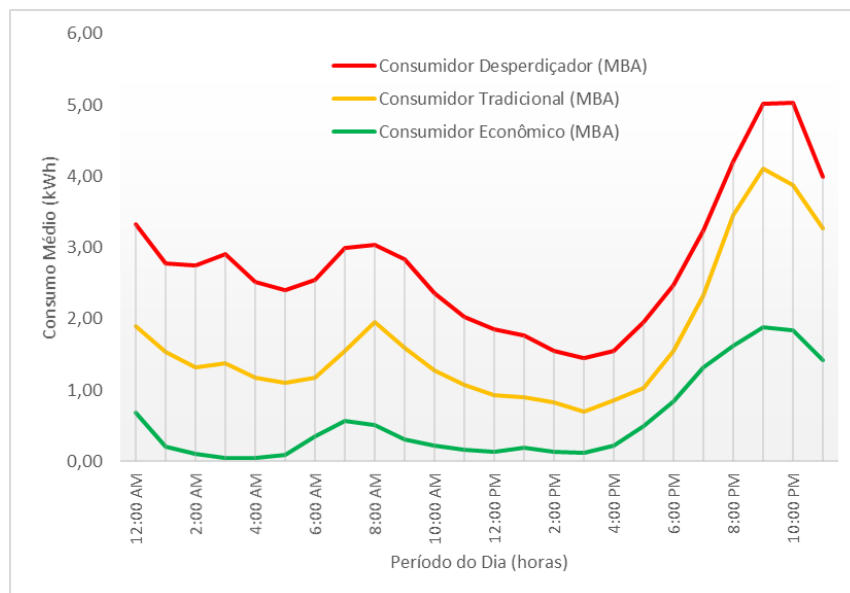
entre os dados simulados utilizando o MP obtidos no sítio eletrônico da COPEL e os dados simulados através de MBA, sendo que esse último apresenta ocupantes com diferentes tipos de consciência de consumo de energia elétrica. A linha azul representa a média dos dados simulados utilizando o MP, a linha laranja mostra os dados simulados para o consumidor com nível de consciência de consumo de energia elétrica tradicional, a linha vermelha exibe os dados simulados para o consumidor com consciência de consumo de energia elétrica que gasta sem preocupação de economia (desperdiçador) e a linha verde concebe os dados simulados para o consumidor com consciência de consumo de energia elétrica econômica. A diferença observada no consumo de energia elétrica é devido ao atributo de consciência de energia. É visível que a linha vermelha apresenta os maiores valores de consumo. Por sua vez a linha verde, ao contrário, demonstra o consumo de ocupantes econômicos e com consciência para não desperdiçar energética elétrica. Nesse estudo de caso, observa-se uma redução média de 62,3% dos dados simulados do ocupante econômico em relação ao ocupante desperdiçador.

Estudo de Caso 2

Figura 4. Simulação do Estudo de Caso 2. (a) MBA, MP e Real (b) Consciência de Consumo.



(a)



(b)

Fonte: Autor (2021).

A Figura 4a demonstra o consumo diário de energia elétrica, considerando a média dos dias da semana durante o período de um ano, comparando o consumo de energia elétrica entre os dados reais obtidos no sítio eletrônico da ANEEL, os dados simulados utilizando o Modelo Probabilístico (MP) obtidos no sítio eletrônico da COPEL e os dados simulados utilizando o Modelo Baseado em Agentes (MBA) proposto por esse estudo. Observa-se, assim como no Estudo de Caso 1, que a linha marrom (consumo médio baseado em dados reais) e a linha laranja (consumo médio baseado em dados simulados através de MBA) estão com as curvas convergindo em diversos pontos, demonstrando que os valores reais estão muito próximos aos valores simulados através de MBA. Por outro lado, a linha azul (consumo médio baseado em dados simulados através do MP) apresenta uma grande divergência dos dados reais, demonstrando que esse tipo de simulação não reflete com precisão a realidade do consumo de energia elétrica. A Figura 4Figura 3b demonstra a comparação entre os dados simulados utilizando o MP obtidos no sítio eletrônico da COPEL e os dados simulados através de MBA, sendo que esse último apresenta ocupantes com diferentes tipos de consciência de consumo de energia elétrica. A linha azul

representa a média dos dados simulados utilizando o MP, a linha laranja mostra os dados simulados para o consumidor com nível de consciência de consumo de energia elétrica tradicional, a linha vermelha exibe os dados simulados para o consumidor com consciência de consumo de energia elétrica que gasta sem preocupação de economia (desperdiçador) e a linha verde concebe os dados simulados para o consumidor com consciência de consumo de energia elétrica econômica. Percebe-se que as mesmas observações do experimento anterior (Estudo de Caso 1) se aplica a esse caso, o que comprova que o comportamento humano impacta no aumento e/ou diminuição do consumo de energia elétrica. Nesse estudo de caso, observa-se uma redução média de 57,6% dos dados simulados do consumidor econômico em relação ao ocupante desperdiçador. Entre o Estudo de Caso 1 e o Estudo de Caso 2 há um aumento médio de 13,7% no Estudo de Caso 2. Esse aumento do consumo de energia elétrica ocorre quando há um ocupante desempregado, essa pessoa fica mais tempo em casa e acaba utilizando mais vezes os aparelhos elétricos.

CONCLUSÃO

Este estudo apresentou uma simulação de Modelos Baseados em Agentes visando aperfeiçoar as limitações dos Modelos Probabilísticos existentes. Os experimentos mostraram o quão distantes da realidade estão os modelos probabilísticos em comparação com os dados reais. Foi demonstrado também que o modelo desenvolvido produz dados simulados de consumo de energia elétrica válidos em comparação com os dados reais. Além disso, com a implantação de diferentes níveis de consciência de consumo de energia elétrica dos moradores é possível obter dados para demonstrar a variação do consumo e o desperdício de energia elétrica a partir do comportamento humano. Por fim, o modelo proposto abre caminho para mais experimentos a fim de estudar o efeito das ações humanas nesse sentido, testá-lo em outros grupos de pessoas e para o desenvolvimento de soluções para uma conscientização para um consumo mais eficiente da energia elétrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Dados Abertos**. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/dados>. Acesso em: 01 dez. 2020.

BALEST, J.; SECCO, L.; PISANI, E.; CAIMO, A. **Sustainable energy governance in South Tyrol (Italy)**. Journal of Cleaner Production, Volume 221, pp. 854-862, 2019.

BELLI, D.; CHESSA, S.; FOSCHINI, L.; GIROLAMI, M. A. **Probabilistic Model for the Deployment of Human-Enabled Edge Computing in Massive Sensing Scenarios**. IEEE Internet of Things Journal, vol. 7, no. 3, pp. 2421-2431, 2020.

CHOU, Y.; YANG, J.; WU, C. **An energy-aware scheduling algorithm under maximum power consumption constraints**. Journal of Manufacturing Systems, vol. 57, pp. 182-197, 2020.

COPEL. Companhia Paranaense de Energia. **Meu simulador de energia**. Disponível em: <https://www.copel.com/scnweb/simulador>. Acesso em: 02 mai. 2021.

GIL, A. C. **Como elaborar Projetos de Pesquisa**. 5.ed. São Paulo, Atlas, 2010.

GONZÁLEZ-BRIONES, A; PRIETA, F.; MOHAMAD, M.; OMATU, S.; CORCHADO, J. **Multi-Agent Systems Applications in Energy Optimization Problems: A State-of-the-Art Review**. Energies, vol. 11, no. 8, pp. 19-28, 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827>. Acesso em: 01 dez. 2020.

JAXA-ROZEN, M.; KWAKKEL, J. H.; BLOEMENDAL, M. **A coupled simulation architecture for agent-based geohydrological modelling with NetLogo and MODFLOW**. Environmental Modelling & Software, vol. 115, pp. 19-37, 2019.

MUSAEUS, L. H.; MUSAEUS, P. **Computational Thinking in the Danish High School: Learning Coding, Modeling, and Content Knowledge with NetLogo**. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3287324.3287452>. Acesso em 18 fev. 2020.

RICHARDSON, I.; THOMSON, M.; INFIELD, D.; CLIFFORD, C. **Domestic electricity use**. Energy and Buildings, vol. 42, pp. 1878-1887, 2010.

ZHOU, Y.; WU, J; LONG, C. **Evaluation of peer-to-peer energy sharing mechanisms based on a multiagent simulation framework**. Applied Energy, vol. 222, pp. 993-1022, 2018.