



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE MATEMÁTICA, ESTATÍSTICA E COMPUTAÇÃO
CIENTÍFICA
DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA APLICADA

Bruno Yuji Kobaiashi Marques

Construção de um modelo multicritério: Autogestão de comunidades de energia

Campinas

21/11/2024

Bruno Yuji Kobaiashi Marques

Construção de um modelo multicritério: Autogestão de comunidades de energia

Relatório apresentado ao Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos para obtenção de créditos na disciplina Projeto de Extensão Supervisionado, sob a orientação do(a) Prof. Luiz Carlos Pereira da Silva e co-orientado pelo Prof. Julio César Ferraz Amstalden.

Resumo

Este projeto de extensão foi realizado em parceria com o CPTEn, que é o centro paulista de estudos em transição energética. Para o projeto, fizemos diversas visitas ao ProGeN, que é uma ONG localizada no bairro satélite iris, o qual é o bairro com menor IDH de campinas e o qual foi o foco de nosso trabalho. O intuito do projeto é fazer a criação de uma comunidade de energia, ou seja, realizar a instalação de um sistema fotovoltaico - que será instalado no telhado da quadra desta ONG - para que a energia gerada por esse sistema ajude algumas famílias deste bairro com suas contas de luz. Com isso, foi feito um dimensionamento do tamanho do sistema que seria necessário para atender a essa demanda, considerando inicialmente uma demanda de energia de 50 domicílios. Além disso, de acordo com a lei 14.300, a energia gerada pelo sistema que não for consumida por nenhuma das famílias vinculadas ao projeto, pode ser injetada na rede gerando créditos ou redistribuída entre os domicílios que estão sob o mesmo sistema. Com isso, meu trabalho dentro do projeto foi o de criar um modelo matemático que calculasse a porcentagem desse excedente de energia que cada domicílio deveria receber de acordo com indicadores socioeconômicos da família, como renda familiar, saneamento básico, número de cômodos na casa, entre outros. Para isso, tendo como objetivo criar um modelo com o mínimo de subjetividade possível, utilizei alguns métodos de decisão multi critério como o AHP, o WSM e a matriz de julgamento, criando escalas para cada indicador e realizando julgamentos entre eles para se atribuir um peso para cada e, posteriormente, calculando a porcentagem de energia que cada domicilio deverá receber.

Abstract

This extension project was made in partnership with CPTEn, that is the Centro Paulista de Estudos em Transição Energética. In this project, firstly, we made a visit to the progen, that is a NGO localized on the district satélite iris, which is the district with worst HDI in Campinas. The intent of the project is to make an energy community, in other words, to make the installation of a photovoltaic system on the court roof of this NGO, for that the energy generated with this system helps some familys of this district with their electricty bills. To that, a sizing of the system was made to define the size that is necessary to attend to this demand, considering initially an demand of energy to fifty houses. Moreover, according to the law n^o 14.300, the energy generated that wasn't consumed by any family linked to the project, can be injected in the electrical network generating credits or can be redistributed between the houses that are under the same system. So, my work inside the project was to make a mathematician model that calculate the percentage of this surplus of energy that each house should receive in agreement to socioeconomic indicators of the family, like family income, basic sanitation, number of rooms in the house, among others. To do this, the model should have the least subjectivity as possible, so i used some methods of multi criteria decision, like the AHP, or the WSM and the judgment matrices. With them, I made scales to each indicator and made judgments among them to assign an weight to each of them and calculate the percentage of energy that each house should receive.

Conteúdo

1	Introdução	6
2	Contextualização	6
3	Métodos utilizados	9
4	Construção	13
5	Resultados	17
6	Conclusão	19
7	Apêndice	20

1 Introdução

A contemporaneidade traz a mudança de paradigmas energéticos, a sustentabilidade, a inclusão social e a digitalização das relações de trabalho como desafios complexos, especialmente para os países que estão em processo de desenvolvimento e apresentam níveis significativos de defasagens técnicas, sociais e econômicas, como é o caso brasileiro. A maior escassez de oferta de cursos sobre energias renováveis está nos países em desenvolvimento, de modo que isso está relacionado a limitações financeiras e poucos formadores habilitados. Tais fatos são corroborados por especialistas, que afirmam que a disseminação do uso das energias renováveis encontra barreiras de ordem tecnológica, econômica, sociocultural e institucional. Segundo eles, algumas tecnologias desenvolvidas não satisfazem as necessidades percebidas para os fins dos usuários, enquanto algumas nem apresentam custos efetivos. Ainda segundo esses especialistas, as grandes barreiras socioculturais e institucionais para a disseminação de tecnologias em energias renováveis devem ser superadas em larga extensão. Nesse sentido, afirmam que a educação em energias renováveis teria de ocorrer em nível global e de massas e que educação não escolar sobre o tema deveria ser destinada àqueles que nunca puderam frequentar a escola, aos desempregados que abandonaram seus estudos e aos adultos interessados em adquirir novas habilidades e conhecimentos. Com isso, uma forma alternativa de educação deveria ser utilizada para divulgar as energias renováveis, de modo a se configurar um aprendizado que considere a subjetividade dos indivíduos, estimule a criatividade e ative pontos de interesse que possam desencadear conexões com outras questões e, assim, possibilitar a formação de uma rede de significados. Em resposta a esses desafios, o presente trabalho tem como proposta contribuir para a educação em energias renováveis na perspectiva da gestão da produção de eletricidade em comunidades de energia para populações de baixa renda, através da criação de uma ferramenta estatística que auxilie a tomada de decisões de forma equilibrada e justa.

2 Contextualização

Este projeto foi realizado junto ao CPTEEn (Centro Paulista de Estudos da Transição Energética) e com apoio do Projeto Gente Nova (PROGEN).

Dentro do projeto, foi trabalhado com o conceito de Comunidades de Energia para populações de baixa renda, que são caracterizadas como de autoconsumo remoto e de geração compartilhada. Ou seja, um grupo de domicílios será conectado a uma central geradora local sob uma única titularidade jurídica, com manutenção e limpeza sendo de responsabilidade dos próprios beneficiários, que também exercerão a governança energética comunitária.

Com isso, o sistema fotovoltaico deverá ser instalado em um local que seja de acesso comum e tenha o respeito e o reconhecimento de todos habitantes locais, como por exemplo uma quadra comunitária de esportes ou a sede de uma associação de moradores, ou seja, um lugar cuja existência seja reconhecida pelos locais como emblemática de suas experiências como moradores ou portadora de alguma simbologia para a história da coletividade.

A governança energética comunitária por parte dos beneficiários pode acontecer através de tomadas de decisões colegiadamente. Uma das formas como isso pode acontecer, e a qual foi utilizada neste trabalho é a seguinte:

”Decisões comunitárias quanto à forma de dividir a energia gerada entre os membros da coletividade, segundo a construção de parâmetros e mecanismos que levem em conta aspectos técnicos e aspectos internos à comunidade (tamanho das famílias, renda familiar, quantidade de desempregados numa família, número de crianças e jovens em cada domicílio, grau de participação e envolvimento na comunidade de energia).”

Para o dimensionamento da Comunidade de Energia, foi utilizado como base os sistemas on-grid, que são indicados para localidades urbanas e rurais em regiões de grande taxa de insolação e conectadas ao SIN, pelo fato de haver grande rendimento de geração ao longo do ano. O sistema on-grid permite que os beneficiários se vinculem ao Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE), tal como previsto pela Lei 14.300 lei [2022], o marco legal da geração distribuída. Dessa maneira, os déficits de energia podem ser obtidos junto à rede, bem como seus excedentes podem ser compensados internamente à comunidade. Além disso, o processo de formação de uma Comunidade de Energia considera ser necessário que, antes de se fazer a instalação dos sistemas, os beneficiários passem por um período de aprendizado de operação do sistema para desenvolver entendimento

e familiaridade tanto em relação ao seu funcionamento quanto às normas colocadas pelo marco legal de geração distribuída.

Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico em si, o qual consiste em calcular a quantidade de painéis solares necessários para atender a determinada coletividade, bem como a potência total fotovoltaica para servi-la. A equipe de trabalho precisou coletar dados médios de consumo de eletricidade na realidade a ser considerada, o que pôde ser feito com ajuda da concessionária local e com visitas aos domicílios para consultar faturas e realizar entrevistas com os moradores para saber quais dispositivos elétricos dispõem em seu cotidiano, de modo a permitir uma estimativa média. Para isto, foram considerados dados de 2023 de 780 usuários dentre as ruas Alcído Rodelli, Geraldo Campos Ferreira, Osvaldo Gallerani, José Casonatto, Jean Francisco Jobard, Pedro Agápio Neto e Carolina de Oliveira, os quais conjuntamente possuem uma média de consumo mensal de 182,12 kWh.

Após isso, em posse do perfil médio de consumo, procede-se a rotina de cálculo como o exemplo abaixo ilustra:

- o consumo médio mensal por residência resultante foi de 182,12 kWh/mês;
- considerando-se o sistema bifásico, temos um pagamento mínimo de 50 kWh, ou seja, um consumo médio de $182,12 - 50 = 132,12$ kWh/mês;
- com isso, a potência necessária a ser gerada diariamente é de $P_d = 168,76/30 = 4,40$ kWh/dia
- a potência gerada por cada painel é dada por $P_p = 340$ W, de acordo com dados do fabricante;
- ou seja, a potência total dos painéis será de $P_t = P_d/(I * N)$, onde I é a irradiação média solar por dia e $N = 80\%$ é a eficiência de rendimento, considerando perdas de geração de 20%.
- para encontrar o valor de I, deve-se primeiramente verificar as coordenadas geográficas do local onde as placas serão instaladas, Para o nosso caso seria algo como por exemplo lat = -22.9430424 e lon = -47.1407969,17.

- após isso, através do site www.cresesb.cepel.br, é possível encontrar a irradiação solar média diária nessas coordenadas, que possui o valor $I = 4,91 kWh/m^2$;
- com isso, temos que $P_t = 4,40/4,91 * 0,80 = 1,12 kWp$;
- além disso, a quantidade de painéis necessários é dada pela expressão $Q = P_t/P_p$, ou seja, $Q = 1,12 * 1000/340 = 3,3$;
- ou seja, cada residência necessitará de aproximadamente 3 painéis fotovoltaicos e meio;
- portanto, se forem consideradas 50 residências, serão necessários $3,5 * 50 = 175$ painéis, de modo a gerar $56 kWp$ por dia.

Para se ter participação no SCEE e ser possível a divisão da eletricidade no caso de autoconsumo remoto e geração compartilhada, a Lei 14.300 estabelece alguns critérios para que isso seja feito. Além disso, com relação as medições de consumo da Comunidade de Energia, a concessionária local de distribuição de eletricidade é a responsável por registrar a quantidade de energia utilizada e a quantidade de energia injetada na rede a cada mês, sendo também responsável por direcionar os excedentes gerados pelo sistema da Comunidade de Energia para os domicílios integrados a esta Comunidade. Porém, será o titular da unidade onde está instalada a geração distribuída o responsável por designar o percentual de excedentes gerados que será direcionado para cada unidade consumidora (domicílio).

Sendo assim, para que seja feita essa designação de excedentes para cada domicílio de uma forma mais justa, foi criada uma ferramenta estatística para auxiliar os gestores da Comunidade de Energia a definirem os percentuais de cada domicílio, com base em critérios relacionados a situação socioeconômica dos moradores da região.

3 Métodos utilizados

Para a criação desta ferramenta estatística, foram utilizados em conjunto métodos de decisão multicritério. O primeiro deles, foi encontrado a partir da leitura de um artigo

internacional que cria uma forma de medir o índice de pobreza energética de um local, com um método chamado multidimensional energy poverty index (MEPI) Nussbaumer [2012], medindo a intensidade e a incidência de pobreza energética em determinada localidade, através da quantificação da privação da energia em oposição ao acesso à energia. Para este cálculo, foi utilizado um *composite indice*, que é uma forma de se adquirir resultados calculados a partir de uma série de *single indicators*, sendo que estes foram limitados às necessidades domésticas.

Na metodologia utilizada é feito o seguinte processo:

- primeiramente é criada uma matriz Y com n indivíduos (linhas) e d variáveis (colunas), sendo os vetores linha representantes dos valores de um indivíduo para cada variável e os vetores coluna a distribuição daquela variável entre os indivíduos.
- após isso, é criado um vetor de ponderação W , com o peso de cada variável, sendo a soma dos pesos igual a 1.
- depois disso, é definido o limite de privação z_j para cada variável j e criada a matriz de privação G que tem como valores $g_{ij} = w_j$, se $y_{ij} < z_j$ e 0 nos casos contrários.
- em seguida, é feito o vetor C de contagem de privações, com c_i sendo a soma dos g_{ij} diferentes de zero.
- após isso, é definido o limite de privação geral k e atribuído zero para os valores de C onde $c_i \leq k$.
- por fim, o método vê quantos pessoas (q) estão acima do limite e faz a proporção de pessoas pobres em energia, dada por $H = q/n$. Calculando também a intensidade da pobreza energética, através da soma dos c_i acima do limite dividido por q .

Porém, para o caso das Comunidades de Energia, a metodologia não seria igual, pois o objetivo não é apenas definir quais pessoas estão acima ou abaixo da pobreza energética, mas sim criar um ranking entre os domicílios para se fazer a distribuição dos excedentes proporcionalmente a este. Sendo assim, lendo o artigo e vendo a metodologia, foi possível descobrir algumas técnicas de análise multi critério (com várias variáveis), como

por exemplo a Weighted Sum Model (WSM) Mateo [2012], que também é comentada e utilizada no texto.

Esta técnica serve para, por exemplo, fazer um ranking entre n coisas com relação a d critérios especificados, utilizando-se do seguinte processo:

- definição dos critérios que serão utilizados e definindo a escala para as variáveis;
- coleta dos dados de cada critério e criação de uma matriz A de variáveis (colunas) por indivíduos (linhas) com estes dados.
- normalização da matriz A , dividindo o valor a_{ij} pela soma dos valores da coluna j , chamada também de *linear scale transformation*;
- definição de um vetor C com os pesos de cada variável;
- multiplicação da matriz A pelo vetor C , que irá gerar um valor para cada indivíduo com relação aos critérios analisados;
- ordenamento desses valores obtidos e atribuição de uma porcentagem com relação ao todo para cada valor.

Após isso, para a definição dos pesos das variáveis, ou seja, a matriz C do processo anterior - que no artigo já eram dados e não mostrava diretamente como foram encontrados - foi encontrado através de pesquisas o método AHP (Analytic Hierarchy Process) Rohland [2023] que possui uma forma para se fazer isso, através de julgamentos, dado pelo seguinte processo:

- primeiramente é necessário estabelecer as n variáveis e fazer uma comparação entre elas, atribuindo valores dentro de uma escala com relação à importância que cada uma tem sobre a outra;
- a partir desta comparação, é criada uma matriz de julgamento $T_{n \times n}$, sendo que cada valor t_{ij} é dado pelo valor atribuído a comparação entre a variável da linha i com relação a variável da coluna j ;
- após isso, é feito a soma dos valores de cada coluna j e feito uma normalização da matriz, dividindo cada um dos valores t_{ij} pela soma da coluna j .

- por fim, é feito a média de cada linha da matriz normalizada, encontrando assim o peso de cada variável, em cada linha, respectivamente.

Além disso, para se fazer a comparação entre cada variável, foi utilizada a escala (Saaty) Jordão [2006], que tem valores 1 a 9 - utilizada em diversos artigos que trabalham com estes métodos - sendo que 1 representa que as variáveis tem a mesma importância e 9 que a variável da linha i é muito mais importante que a variável da linha j , como mostra na tabela abaixo:

Intensidade da importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	Ambos os itens (critérios ou alternativas) contribuem igualmente para atingir o objetivo
2	Importância ligeiramente superior	
3	Importância Moderada	Experiência e julgamento favorecem ligeiramente um item (critérios ou alternativas) sobre o outro
4	Mais moderada	
5	Forte importância	Experiência e julgamento favorecem fortemente um item sobre o outro
6	Mais Forte	
7	Importância Muito forte	Um item é muito fortemente favorecido em detrimento de outro; sua dominância é demonstrada na prática
8	Muito mais forte	
9	Importância absoluta ou extrema importância	A evidência favorecendo uma atividade sobre a outra é da mais alta ordem possível de afirmação
$n, 1$ a $n, 9$	Quando as atividades são muito próximos um decimal é adicionado a 1 para mostrar a sua diferença, conforme apropriado	Comparar duas atividades estreitas, favorecendo a maior com o acréscimo de decimais
Recíprocos	Valores inversos aos pesos de julgamentos: $(1/n)$ onde "n" é o peso atribuído	Suposição lógica

Figura 1: Tabela com os valores da escala Saaty

Por fim, continuando a pesquisa, foi encontrado um artigo que falava sobre a consistência das matrizes matrizes de julgamento Godoi [2014], sendo utilizado um índice e uma taxa de consistência para verificar se o julgamento feito na matriz estava bom. Para se analisar isto, devem ser feitos os seguintes passos:

- primeiramente deve ser feito a definição de um valor chamado *número de Eigen*, o qual é calculado através da combinação linear entre os pesos de cada variável e a soma total da coluna da mesma variável;
- após isso, para calcular o *Índice de Consistência*, é feito a subtração do número de variáveis do número de eigen e depois é dividido pelo número de variáveis menos 1;
- por fim, para a *Taxa de consistência*, é feito a divisão do índice de consistência pelo índice de consistência aleatória, que é definido através do número de variáveis e pode ser encontrado na tabela 5.

Com isso, para saber se o índice/taxa de consistência estão bons, os valores obtidos após os cálculos devem ser menores que $0,1 = 10\%$.

Por fim, foi visto que o método AHP estrutura o problema em 3 principais componentes: Objetivo, Critérios e Alternativas. Com isso, temos que o "Objetivo" deste trabalho é *rankear* os domicílios que serão favorecidos com os excedentes de energia, sendo assim, o próximo passo seria definir as variáveis utilizadas e as alternativas possíveis para cada variável.

4 Construção

Para a definição das variáveis a serem utilizadas, primeiramente foi feita uma pesquisa em outros órgãos e entidades com relação as variáveis que eles utilizavam para definir critérios socioeconômicos e, a partir disso, foi feito um levantamento de quais destas variáveis seriam interessantes para a ferramenta que seria construída.

O primeiro deles foi no próprio Serviço de Apoio ao Estudante (SAE) da Unicamp, o qual foi pesquisado como se era calculado o índice socioeconômico para ordenar os alunos que têm preferência para receber a bolsa de auxílio social (BAS). Para este processo, foi encontrado que o SAE utiliza os seguintes indicadores:

- Renda bruta total mensal familiar;
- Gastos com a moradia do grupo familiar;

- Gastos com transporte até a Unicamp;
- Existência de doença grave ou redutora da capacidade no grupo familiar;
- Tipo de escolaridade do aluno (público/privado);
- Número de membros do grupo familiar;

Após este, no site do IBGE, existe uma Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) IBGE [2010], a qual visa mensurar as estruturas de consumo das famílias para possibilitar traçar o perfil da condição de vida destas, através da análise dos orçamentos domésticos. Nesta pesquisa, é utilizado 5 dimensões diferentes, sendo os principais indicadores utilizados em cada dimensão os seguintes:

- Moradia: tipo de domicílio, n^o de cômodos, n^o de dormitórios, n^o de banheiros, condição de ocupação, abastecimento de água, esgotamento sanitário, origem da energia elétrica, material do piso/paredes/cobertura, pavimento da rua, tempo de moradia, características do aluguel;
- Famílias: n^o de integrantes, inventário dos bens duráveis, condições de vida;
- Pessoais: relação com a pessoa de referência, condição de presença, idade, sexo, nível de escolaridade, cor/raça, atividade/ocupação;
- Orçamentos: despesa global, despesas corrente, despesas de consumo, aumento do ativo, diminuição do passivo, local de compra, despesas monetária e não monetária média mensal, rendimento total, rendimento de trabalho, transferências, rendimento de aluguel, outros rendimentos, rendimento mensal pessoal e familiar, movimentação financeira;
- Meio Ambiente: localização do domicílio, separação do lixo, coleta seletiva de lixo, destino do lixo, fonte própria de energia elétrica, aquecimento da água, combustível utilizado no fogão.

Por fim, foi analisado também o Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) utilizado pelo IPEA [2015], que mostra quantitativamente o acesso ou ausência a estruturas e recursos

básicos. Sendo dividido em 3 dimensões: Infraestrutura Urbana, Capital Humano e Renda e Trabalho, que utilizam os seguintes indicadores:

- Infraestrutura Urbana: percentual de pessoas em domicílios com abastecimento de água e saneamento inadequados; percentual da população que vive em domicílios sem serviço de coleta de lixo; percentual de pessoas que vivem em domicílios com renda per capita abaixo de meio salário mínimo; percentual de pessoas que gastam mais de uma hora até o trabalho.
- Capital Humano: mortalidade até o primeiro ano de vida; percentual de crianças até 5 anos que não frequentam a escola; percentual de crianças de 6 a 14 anos na família; percentual de mulheres de 10 a 17 anos que tiveram filhos; percentual de mães chefe da família com baixa escolaridade e filhos pequenos; percentual de pessoas com mais de 15 anos com analfabetismo; percentual de crianças em domicílios com pais com baixa escolaridade; percentual de pessoas de 15 a 24 anos sem emprego/estudo e com baixa renda per capita domiciliar.
- Renda e Trabalho: proporção de pessoas com renda per capita familiar abaixo de meio salário mínimo; taxa de desocupação das pessoas de maioridade; percentual de pessoas na maioridade com ensino básico incompleto e com ocupação informal; percentual de pessoas com renda per capita domiciliar inferior a meio salário mínimo e dependente de idosos.

Além disso, analisando estas pesquisas, foi possível perceber que há maiores números de vulnerabilidade social em um domicílio quando há mulheres, crianças, idosos e pretos/pardos na família, ou quando a pessoa de referência da família tem baixa instrução e emprego informal.

Com isso, a partir de uma combinação dos indicadores destas pesquisas, levando em consideração que as pesquisas citadas anteriormente foram pensadas para grandes amostragens populacionais, foi criada uma estrutura de indicadores dividida em 3 dimensões principais com cada dimensão possuindo um número de indicadores, como mostra abaixo:

- Domicílio: água/saneamento inadequados, ausência de coleta de lixo, tempo maior que uma hora para chegar ao trabalho;

- Pessoa: mortalidade infantil (até o primeiro ano), crianças até 5 anos que não frequentam a escola, crianças de 6 a 14 anos na família, mulheres de 10 a 17 anos que tiveram filhos, mães chefe da família com baixa escolaridade e filhos pequenos, pessoas com mais de 15 anos com analfabetismo, crianças em domicílios com pais com baixa escolaridade; pessoas de 15 a 24 anos sem emprego/estudo e com baixa renda per capita domiciliar.
- Renda: pessoas que vivem em domicílios com renda per capita abaixo de meio salário mínimo, pessoas com renda per capita familiar abaixo de meio salário mínimo; taxa de desocupação das pessoas de maioridade, pessoas na maioridade com ensino básico incompleto e com ocupação informal, pessoas com renda per capita domiciliar inferior a meio salário mínimo e dependente de idosos.

Sendo que os dados serão coletados em cada residência separadamente por participantes do projeto com o sistema de coleta sendo parte do aprendizado de gerenciamento comunitário.

Já a respeito das alternativas de resposta para as variáveis, foi criada uma escala de 0 a 1 para cada um dos indicadores, sendo que 0 representa que aquela residência não é afetada por este indicador e 1 que a residência é afetada pelo indicador em sua totalidade. A tabela com as escalas exatas para cada indicador se encontram na tabela 6.

5 Resultados

Realizando a construção da matriz de julgamento para as variáveis de cada uma das 3 dimensões especificadas, encontramos como peso resultante para cada variável os valores encontrados na tabela a seguir:

Pesos - Domicilio	
água/saneamento inadequados	0,2907915
ausência de coleta de lixo	0,211688321
tempo maior que uma hora para chegar ao trabalho	0,111540197
nº de comodios	0,037608026
nº de banheiros	0,094298789
material do piso	0,045594137
material das paredes	0,06098462
material da cobertura	0,14749441
Pesos - Pessoais	
mortalidade infantil	0,277408773
crianças até 5 anos que não frequentam a escola	0,09292584
crianças de 6 a 14 anos na família	0,057289687
mulheres de 10 a 17 anos que tiveram filhos	0,13984415
mães chefe da família com baixa escolaridade e filhos pequenos	0,146682918
pessoas com mais de 15 anos com analfabetismo	0,065973614
crianças em domicilios com pais com baixa escolaridade	0,049965952
pessoas de 15 a 24 anos sem emprego/estudo e com baixa renda per capita domiciliar	0,169909066
Pesos - Renda	
renda per capita familiar abaixo de meio salário mínimo	0,320471195
taxa de desocupação das pessoas de maioridade	0,170315795
pessoas na maioridade com ensino básico incompleto e com ocupação informal	0,105450105
renda per capita domiciliar inferior a meio salário mínimo e dependente de idosos	0,403762904

Figura 2: Tabela com os valores de peso para cada indicador

Além disso, após fazer o julgamento em cada uma das dimensões, foi realizado também um julgamento entre as dimensões, encontrando como peso para cada dimensão o seguinte: Domicilio = 0.122181965, Pessoal = 0.229871176 e Renda = 0.64794686.

Temos também para cada um dos julgamentos realizados que a taxa e o índice de consistência ficaram menores que 0.1, como pode ser observado na tabela 7 em anexo.

Em seguida, com base em visitas feitas ao bairro satélite iris e analisando um relatório do Projeto Gente Nova (PROGEN) a respeito do perfil das famílias do bairro, foram definidos diferentes critérios para 10 famílias fictícias para se testar o método, sendo a família 1 a com as melhores condições de vida e a família 2 com as piores.

Após isso, ao aplicar o método nestas famílias, foi possível observar que cada família receberia as seguintes porcentagens do excedente produzido:

Valores por familia ordenados	
Familia	Porcentagem
Familia 2	0,3101
Familia 10	0,2006
Familia 7	0,1304
Familia 8	0,1189
Familia 6	0,0985
Familia 3	0,0873
Familia 5	0,0270
Familia 4	0,0129
Familia 9	0,0117
Familia 1	0,0026
Total	1,0000

Figura 3: Tabela com as porcentagens do excedente para cada família simulada

Por fim, com uma projeção da geração média de energia mensal feita por uma empresa cotada para a instalação do sistema, temos para os meses de abril, agosto e dezembro os valores de produção de 10810, 11275 e 14026 kWh, respectivamente. Com isso, utilizando como consumo médio mensal o valor de $182,12 * 50 = 9106 kWh$, teremos excedentes de energia para cada um dos meses no valor de 1704, 2169 e 4920, respectivamente. Assim, aplicando os pesos resultantes pelo método, temos que as famílias receberiam os seguintes valores de energia nestes meses especificados:

Valores por familia		Excedente		
		Abril	Agosto	Dezembro
Familia 1	0,0026	4,3508	5,5381	12,5622
Familia 2	0,3101	528,3927	672,5844	1525,6409
Familia 3	0,0873	148,7668	189,3634	429,5380
Familia 4	0,0129	22,0530	28,0710	63,6741
Familia 5	0,0270	46,0357	58,5982	132,9199
Familia 6	0,0985	167,8790	213,6910	484,7209
Familia 7	0,1304	222,1201	282,7338	641,3326
Familia 8	0,1189	202,5568	257,8320	584,8472
Familia 9	0,0117	19,9882	25,4427	57,7124
Familia 10	0,2006	341,8569	435,1454	987,0517
Total	1	1704,0	2169,0	4920,0

Figura 4: Tabela com os valores de energia excedente que cada família simulada receberá

6 Conclusão

Analisando os resultados obtidos podemos perceber que os valores de energia distribuídos a cada domicílio estão de acordo com o que seria esperado levando em conta o nível socio-econômico das residências simuladas. Com isso, temos que o modelo está cumprindo com o seu objetivo, realizando a decisão dos valores de uma forma com menos subjetividade do que se os valores fossem definidos arbitrariamente por pessoas. Porém, com futuros testes práticos, podem ser percebidas variações nos resultados que exijam adaptações e melhorias do modelo, sendo necessário uma busca por métodos mais robustos e complexos para se realizar o cálculo.

7 Apêndice

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Figura 5: Valores do índice de consistência aleatória de acordo com o número de variáveis

Escala das variáveis qualitativas																		
Domicílio	igualzaneamento		coleta de lixo		nº de comod.		nº de banheiros		Material do piso		Material das paredes		Material da cobertura		tempo maior que uma hora para chegar ao trabalho		tempo maior que uma hora para chegar ao	
	Tipo	Valor	Tipo	Valor	Tipo	Valor	Tipo	Valor	Tipo	Valor	Tipo	Valor	Tipo	Valor	Tipo	Valor	Tipo	Valor
	Adequado	0	Adequado	0	1comod.	1	1banheiro	1	cerâmica	0	alvenaria c/ acabamer	0	telha	0	Sim	1	Sim	1
Inadequad	1	Inadequad	1	2 ou 3 comod.	0,8	2 banheiros	0,5	concreto	0,5	alvenaria s/ acabamer	0,5	laje	0,5	Não	0	Não	0	
				4 ou 5 comod.	0,5	3+ banheiros	0	terra	1	outros	1	outros	1					
				6 comod.	0,2													
				7+comodos	0													
Pessoas	crianças até 5 anos que não frequentam a escola		crianças de 6 a 14 anos na família		mulheres de 10 a 17 anos que tiveram filhos		mães chefe de família com baixa escolaridade e filhos pequenos		pessoas com mais de 15 anos com analfabetismo		crianças em domicílios com pais com baixa escolaridade		pessoas de 15 a 24 anos sem emprego/estudo		Mortalidade Infantil			
	Tipo	Valor	Tipo	Valor	Tipo	Valor	Tipo	Valor	Tipo	Valor	Tipo	Valor	Tipo	Valor	Tipo	Valor		
	0	0	0	0	0	0	Sim	1	0	0	0	0	0	0	0	0		
1	0,5	1	0,5	1	0,5	Não	0	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5			
2+	1	2+	1	2+	1			2+	1	2+	1	2+	1	2+	1			
Renda	renda per capita familiar abaixo de meio salário mínimo		taxa de desocupação das pessoas de maioridade		pessoas na maioridade com ensino básico incompleto e com ocupação informal		renda per capita domiciliar inferior a meio salário mínimo e dependente de idosos											
	Tipo	Valor	Tipo	Valor	Tipo	Valor	Tipo	Valor										
	Sim	1	0,33	0	0	0	Sim	1										
Não	0	0,33	0,66	0,5	1	0,5	0											
		0,66	1	2+	1													

Figura 6: Escalas dos indicadores socioeconômicos

Análise de consistência - Domicílio		Análise de consistência - Pessoal		Análise de consistência - Renda	
Número de Eigen	8,669402258	Número de Eigen	8,676891905	Número de Eigen	4,173278111
Índice de Consistência	0,095628894	Índice de Consistência	0,096698844	Índice de Consistência	0,05775937
Taxa de Consistência	0,067821911	Taxa de Consistência	0,06858074	Taxa de Consistência	0,064177078

Figura 7: Valores para análise de consistência das matrizes de julgamento

Referências

- Lei nº 14.300. 2022.
- CPTEn. Centro paulista de estudos da transição energética.
- Wagner da Costa Godoi. Método de construção das matrizes de julgamento paritários no ahp. 2014. doi: 10.3895/gi.v10i3.1970.
- IBGE. Pesquisa de orçamentos familiares. (5), 2010. doi: www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/saude/24786-pesquisa-de-orcamentos-familiares-2.html?t=conceitos-e-metodos.
- IPEA. *Atlas da vulnerabilidade social nos municípios brasileiros*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Rio de Janeiro, 2015.
- Susete Jordão, Bruno. Pereira. A análise multicritério na tomada de decisão - o método analítico hierárquico de t. l. saaty. 2006.
- J.R.S.C. Mateo. *Weighted Sum Method and Weighted Product Method. In: Multi Criteria Analysis in the Renewable Energy Industry*. Green Energy and Technology., Springer, London, 2012. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4471-2346-0_4.
- Morgan. Modi Vijay. Nussbaumer, Patrick. Bazilian. *Measuring energy poverty: Focusing on what matters*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Rio de Janeiro, 2012.
- Lindsay Rohland. Analytic hierarchy process (ahp). 2023.