
Universidade Federal Fluminense – UFF
Instituto de Computação
Departamento de Ciência da Computação

Automação da Climatização Residencial

A lógica nebulosa no aumento do conforto e da economia

Aluno: Rafael Duarte Campbell de Medeiros

Professor: Patrick Barbosa Moratori

Niterói – RJ

Maio / 2021

Introdução

A climatização de ambientes tem vários objetivos, desde promover conforto até melhorar a qualidade do ar. Esse processo, muitas vezes identificado pela sigla – *Heating, Ventilation and Air Conditioning* no inglês –, é muito presente no Brasil em locais comerciais e empresariais, mas não muito no cenário residencial. Por outro lado, os sistemas domésticos são realidade já há muitos anos em vários países pelo mundo, especialmente naqueles que sofrem com grandes variações de temperatura ao longo das estações.

Apesar do crescente interesse e do avanço da tecnologia, o controle da temperatura nesses ambientes é feito, na maioria dos casos, por meio de termostatos regulares. Esse modo de controle, apesar da precisão na definição da temperatura, não é o mais eficiente em conforto e, tampouco, em economia de energia.

Além de muito variado entre países, o clima também é percebido de forma diferente em cada ocasião. Uma temperatura em 18°C, por exemplo, pode ser bastante razoável para uma noite de sono, mas não muito para uma refeição na cozinha. Além disso, vários outros fatores como umidade e circulação do ar afetam significativamente a percepção da temperatura.

O mercado, hoje em dia, oferece várias soluções para lidar com esse problema, desde termostatos controlados por WiFi até sistemas automáticos de controle da temperatura. Entretanto, esses produtos não costumam levar em consideração os vários fatores que afetam o conforto, limitando-se a seguir padrões pré-estabelecidos de temperatura.

Seguindo na contramão da lógica clássica, a lógica nebulosa nos permite considerar vários fatores de forma mais flexível e realista, viabilizando a construção de sistemas mais suaves e adaptáveis. Neste estudo, apresentaremos um modo de aplicar a lógica nebulosa com o objetivo de promover mais conforto e, ainda, economizar energia.

Ferramentas

A princípio, tentou-se implementar o sistema utilizando os ambientes matriciais mais populares (*MatLab* e *SciLab*), entretanto ambos os ambientes apresentaram limitações que tornaram o desenvolvimento menos prático.

Como solução, utilizou-se uma sucinta *toolbox* implementada em Python para lidar com lógica nebulosa. As implementações estão disponíveis em GitHub (com licença livre) e foram escritas pelo usuário amogorkon.

A *toolbox* conta com implementações para os conceitos de Domínio, Conjuntos, Funções, Regras, *Hedges* e outros mais, oferecendo ferramentas suficientes para a construção de sistemas nebulosos bastante robustos.

Por fim, usou-se também o pacote nativo *Tkinter* para a construção de uma interface visual que permitisse simular os parâmetros de entrada e acompanhar as sugestões de saída.

Sistema

O objetivo geral do sistema é considerar condições climáticas internas e externas, bem como as vestimentas e o gosto pessoal dos moradores, na decisão de como melhor climatizar o ambiente. A entrada é dada tanto por configurações quanto por sensores no ambiente; a saída esperada é o controle dos aparelhos de climatização do ambiente.

Variáveis de entrada

Serão consideradas quatro variáveis contínuas obtidas por sensores: temperatura externa, umidade externa, temperatura interna e umidade interna. Consideram-se, ainda, mais duas variáveis discretas recebidas por configuração do usuário: densidade das roupas e gosto pessoal. A tabela 1 descreve o intervalo de valores esperados para cada variável.

Variável	Natureza	Intervalo
Temperatura externa	Contínua	-20°C a 50°C
Umidade externa	Contínua	0 a 100%
Temperatura interna	Contínua	-20°C a 50°C
Umidade interna	Contínua	0 a 100%
Densidade das roupas	Discreta	0 a 10
Gosto pessoal	Discreta	0 a 10

Tabela 1: Intervalos das variáveis

Vale comentar comentar que, para densidade das roupas e para gosto pessoal, os valores são crescentes partindo de menos roupa e mais frio para mais roupa e mais quente, respectivamente.

Fuzzificação

Dadas as diferentes naturezas e características de cada variável, foram adotados alguns modelos adaptados para a realidade brasileira. As variáveis de temperatura externa e interna são modeladas em sete intervalos, desde *extremamente quente* até *extremamente frio*, conforme figura 1.

Obs.: Tanto a função trapezoidal quanto a triangular pedem obrigatoriamente 4 e 3 pontos, respectivamente. Sendo assim, foram adicionado -0.01 e 0.01 em todos os intervalos para viabilizar o fechamento das funções.

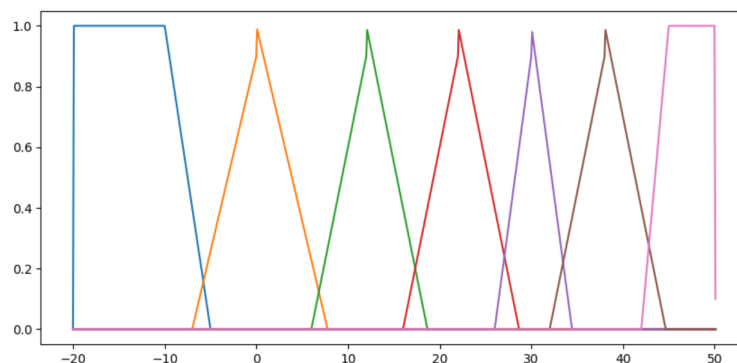


Figura 1: Distribuição das temperaturas

Já a umidade, tanto interna quanto externa, será descrita em cinco intervalos variando de *muito baixa* a *muito alta*, conforme figura 2. As variáveis discretas – gosto pessoal e densidade das roupas – são descritas em 3 intervalos, indo de *baixo* a *alto*, conforme figura 3.

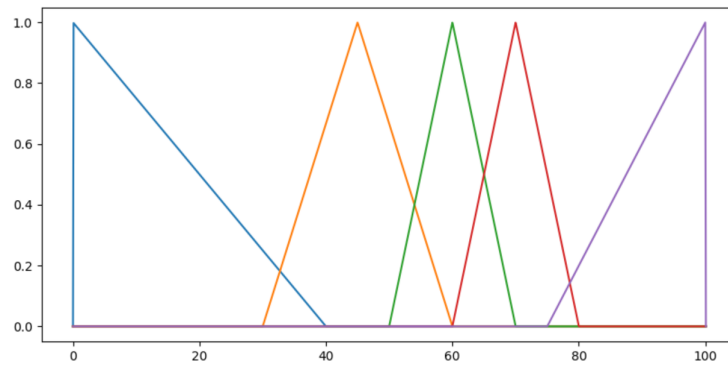


Figura 2: Distribuição da umidade

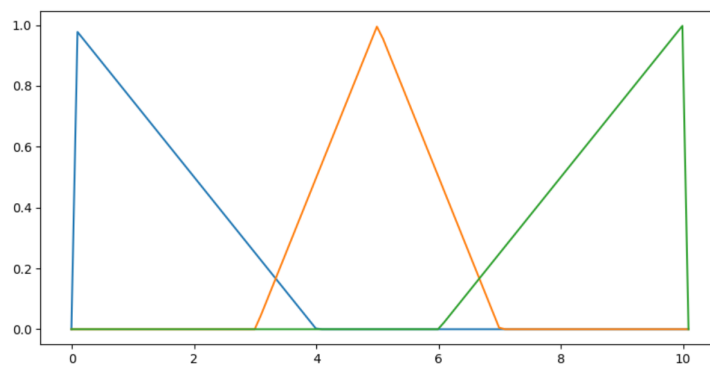


Figura 3: Distribuição de GostoPessoal e DensidadeRoupas

Ao longo das etapas do sistema, algumas outras variáveis intermediárias aparecem para conectar a saída de um subsistema à entrada de outro. No geral, essas variáveis seguem o mesmo padrão de temperatura apresentado na figura 1, à exceção da variável de *Climatização*, que é a saída do sistema. Dividida em 5 intervalos, os valores dessa variável vão de *Aquecedor no Máximo* a *Ar Condicionado no Máximo*, com *Desligado* no centro, conforme figura 4.

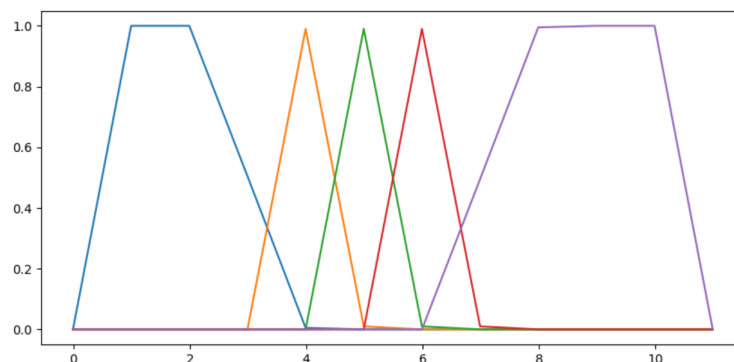


Figura 4: Distribuição de Climatização

Organização dos sistemas

Dada a natureza combinatória das regras em lógica nebulosa, a construção de um modelo que recebe todas as entradas juntas se torna uma tarefa bastante complicada e

ineficiente. Como modo de reduzir a complexidade e melhorar o entendimento, o modelo foi subdividido em vários subsistemas que recebem duas entradas e produzem uma única saída.

Avaliando as entradas, os principais dados são os de temperatura e umidade; com esses dois indicadores, podemos aproximar a sensação térmica. Considerando a temperatura interna e a densidade das roupas, podemos aproximar como a temperatura é percebida dentro de um ambiente.

Olhando para a temperatura externa e interna, o sistema toma uma primeira decisão de esfriar ou aquecer o ambiente. Por fim, aplica-se um viés de gosto pessoal, de modo a permitir que se escolha deixar o ambiente mais frio ou mais quente

O fluxo das variáveis, apesar de passar por várias etapas, acaba sendo bastante intuitivo e rápido de se processar, contando com apenas um número reduzido de regras. Esse fluxograma, com as entradas e saída pontilhadas, está descrito na figura 5.

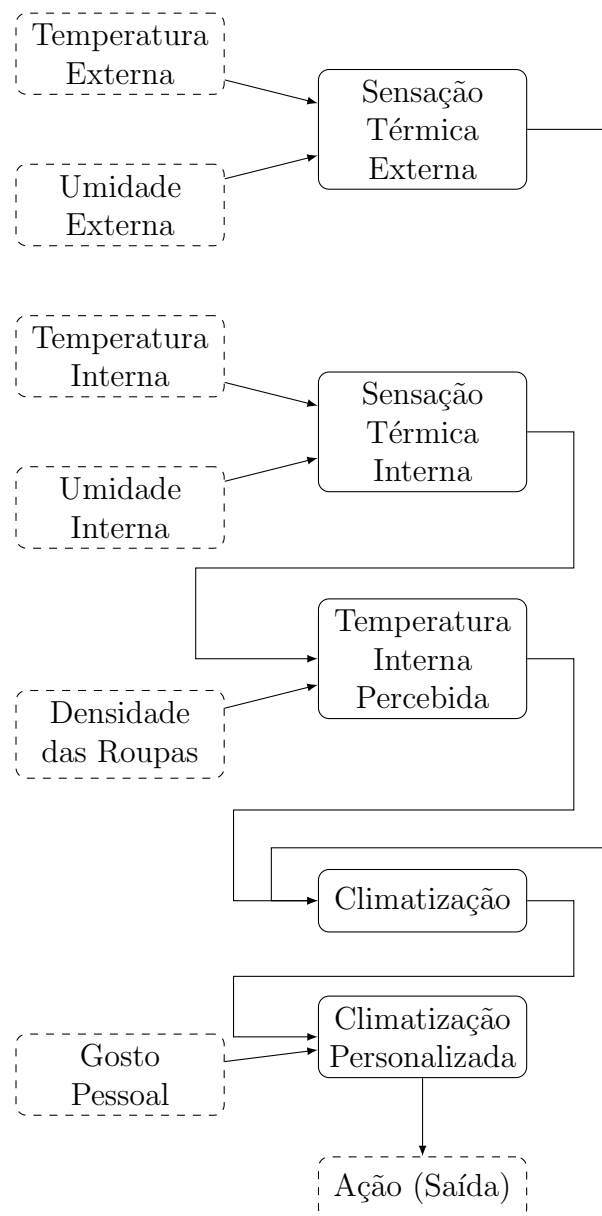


Figura 5: Fluxograma dos sistemas nebulosos

Base de conhecimento

Cada subsistema conta com uma lista de regras que descreve todas as possíveis combinações dos valores de entrada, indicando duas entradas e uma saída. Dada a diferente natureza dos valores e as várias combinações, foram utilizadas algumas percepções gerais sobre clima e contexto, sendo elas:

- a medida que a umidade aumenta, o clima (frio ou quente) é intensificado;
- quanto maior a densidade da roupa, mais quente se percebe a temperatura interna;
- se a temperatura interna está nos extremos, é necessário intervir;
- se a temperatura externa é oposta e mais extrema, considera-se que a temperatura interna tende ao regular;
- o Ar Condicionado é usado para esfriar o ambiente interno, bem como utiliza-se o Aquecedor com a função oposta
- o gosto pessoal age como um intensificador da saída de climatização, puxando o resultado para um dos extremos.

Os valores foram adaptados para a realidade brasileira, considerando uma temperatura ideal próxima dos 22°C. Busca-se, inclusive, utilizar os sistemas de resfriamento e aquecimento com moderação, visando redução no consumo de energia.

Para facilitar o entendimento das regras de saída, foram utilizados alguns *hedges* – heurísticas que deformam as funções originais –, sendo eles:

- **Very:** torna a função mais côncava, de modo a aceitar melhor os valores mais próximos do pico,
- **Plus:** age como o *hedge very*, mas de modo menos agressivo;
- **Minus:** age como o oposto de *very* – similar ao *somewhat* –, mas de modo menos agressivo.

Defuzzificação

O processo de *defuzzificação* ocorre na saída de cada subsistema, produzindo um valor numérico dentro dos limites configurados para a variável de saída. No caso dessa *toolbox*, todas as saídas são geradas pelo método do centróide – também chamado Centro de Gravidade –.

Simulador

Com o objetivo de facilitar os testes do sistema, foi adicionada ao projeto uma interface visual bastante simples. Basta utilizar os seis componentes de escala – chamados *slides* – para definir os valores de cada variável e, em seguida, clicar no botão “Avaliar”. Ao lado direito, a lista de ações possíveis é atualizada com a porcentagem calculada.

Obs.: Para acessar a interface, basta executar o arquivo *Gui* por meio da chamada `\$ python gui.py`.

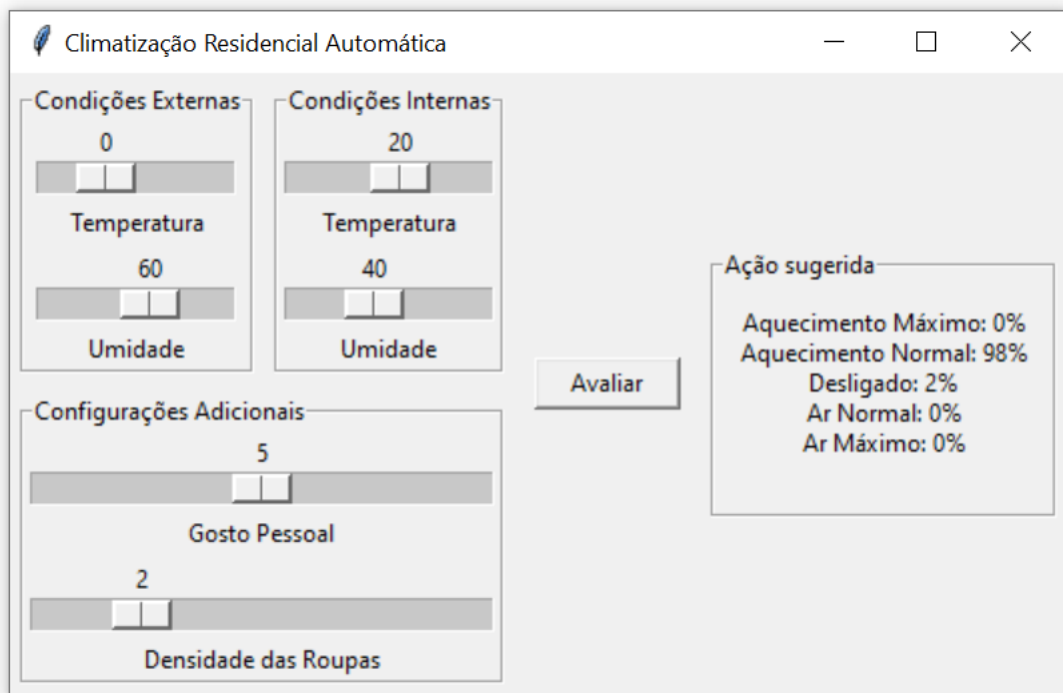


Figura 6: Interface visual do sistema

Resultados

Os resultados obtidos pelo sistema são bastante razoáveis e compatíveis com a realidade; ainda assim, é possível perceber que alguns ajustes não alteram a recomendação. Não fica claro pelo autor dos códigos qual o método empregado para a combinação dos valores, mas a natureza mais discretizada sugere o uso de *Mandani* no cálculo das inferências.

De modo geral, percebe-se que as configurações de *Gosto pessoal* e *Densidade da roupa* afetam mais o resultado do que a *Umidade*, o que faz sentido. Percebe-se, também, certa resistência do sistema em sugerir aquecimento ou resfriamento no máximo, o que é compatível com o objetivo de reduzir custos.

T.Int	U.Int	T.Ext	U.Ext	D.R.	G.P.	Saída
22°C	30%	25°C	40%	4	3	Desligado
0°C	60%	20°C	40%	5	2	Aquecimento Normal
40°C	60%	36°C	76%	3	4	Resfriamento Máximo
5°C	40%	15°C	60%	7	6	Aquecimento Máximo
30°C	40%	26°C	60%	4	8	Resfriamento Normal

Tabela 2: Exemplos de saídas do sistema

Como exemplo, são descritos na tabela 2 algumas opções de entradas e suas recomendações recebidas. Chamo a atenção para o impacto que as colunas de *gosto pessoal* – G. P. – e *Densidade das roupas* – D. R. – gera, forçando cenários máximos inclusive quando as temperaturas estão razoáveis.

Discussão e considerações

Para tornar o sistema ainda mais robusto, seria interessante recalibrar as regras considerando dados compatíveis com cada região em específico, de modo a adequar a temperatura ideal com a esperada por uma determinada população.

Outro ponto de melhora é o modo como são combinadas as variáveis, que ainda parece bastante rígido e, por consequência, gera saídas muito espaçadas. Assumindo que o projeto utiliza um modelo de inferência baseado em *Mamdani*, acredito que o uso de inferência por *Larsen* permitiria resultados melhor distribuídos – ainda que fosse necessário normalizar as saídas para evitar o achatamento excessivo das funções.

Em resumo, o resultado final é um sistema bastante satisfatório, que considera características mais sutis do que apenas a temperatura e é capaz de oferecer ações automáticas para promover mais conforto.

Com uma implementação bastante simples, as entradas poderiam ser facilmente obtidas por meio de sensores baratos e de um aplicativo móvel – para as configurações discretas –, sugerindo uma boa viabilidade do projeto.