

Python Code

```
1  # Código desenvolvido por Cléo de Melo Neto e Pablo Henrique Alves da Silva
2
3
4  import pandas as pd
5  import numpy as np
6  import skfuzzy as fuzz
7  from skfuzzy import control as ctrl
8  import itertools
9
10 # Leitura do dataset
11
12 df = pd.read_excel("MunicipioBrasil_20230102.xlsx")
13
14 df_regiao1 = df[df["cod_regiao"] == 1].copy()
15
16 # Definição das variáveis fuzzy
17
18 var1 = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 101, 1), 'perc_dom_pobres_var1')
19 var2 = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 1.001, 0.001), 'num_idhm')
20 var3 = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 101, 1), 'per_dom_vuln_var3')
21 var4 = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 101, 1), 'perc_pobres_0a11_var1')
22
23 saida = ctrl.Consequent(np.arange(0, 101, 1), 'indicador_auxilio')
24
25 # Funções de pertinência - Entradas
26
27 var1['baixissimo'] = fuzz.trimf(var1.universe, [0, 10, 20])
28 var1['baixo']       = fuzz.trimf(var1.universe, [15, 30, 40])
29 var1['mediano']     = fuzz.trimf(var1.universe, [35, 50, 60])
30 var1['alto']        = fuzz.trimf(var1.universe, [55, 65, 70])
31 var1['altissimo']   = fuzz.trimf(var1.universe, [65, 85, 100])
32
33 var2['baixo']        = fuzz.trimf(var2.universe, [0.0, 0.30, 0.55])
34 var2['medio']        = fuzz.trimf(var2.universe, [0.45, 0.65, 0.85])
35 var2['alto']         = fuzz.trimf(var2.universe, [0.75, 0.90, 1.0])
36
37 var3['baixissimo']   = fuzz.trimf(var3.universe, [0, 2, 5])
38 var3['baixo']        = fuzz.trimf(var3.universe, [4, 8, 10])
39 var3['mediano']      = fuzz.trimf(var3.universe, [9, 20, 30])
40 var3['alto']         = fuzz.trimf(var3.universe, [28, 50, 70])
41 var3['altissimo']    = fuzz.trimf(var3.universe, [65, 85, 100])
42
43 var4['baixissimo']   = fuzz.trimf(var4.universe, [0, 1, 2])
44 var4['baixo']        = fuzz.trimf(var4.universe, [1.5, 6, 10])
45 var4['mediano']      = fuzz.trimf(var4.universe, [9, 15, 20])
46 var4['alto']         = fuzz.trimf(var4.universe, [18, 28, 35])
47 var4['altissimo']    = fuzz.trimf(var4.universe, [30, 65, 100])
48
49 # Funções de pertinência - Saída
50
51 saida['baixissimo']  = fuzz.trimf(saida.universe, [0, 2, 5])
52 saida['baixo']       = fuzz.trimf(saida.universe, [4, 8, 10])
```

```
53  saida['mediano']    = fuzz.trimf(saida.universe, [9, 20, 30])
54  saida['alto']       = fuzz.trimf(saida.universe, [28, 50, 70])
55  saida['altissimo']  = fuzz.trimf(saida.universe, [65, 85, 100])
56
57  # Geração das 375 regras fuzzy
58
59  termos_var1 = ['baixissimo', 'baixo', 'mediano', 'alto', 'altissimo']
60  termos_var2 = ['baixo', 'medio', 'alto']
61  termos_var3 = ['baixissimo', 'baixo', 'mediano', 'alto', 'altissimo']
62  termos_var4 = ['baixissimo', 'baixo', 'mediano', 'alto', 'altissimo']
63
64  regras = []
65
66  for t1, t2, t3, t4 in itertools.product(
67      termos_var1, termos_var2, termos_var3, termos_var4):
68
69      severidade = termos_var1.index(t1) + (2-termos_var2.index(t2)) + termos_var3.ind
70  ex(t3) + termos_var4.index(t4)
71
72      if severidade <= 4:
73          saida_term = 'baixo'
74      elif severidade <= 7:
75          saida_term = 'mediano'
76      elif severidade <= 10:
77          saida_term = 'alto'
78      else:
79          saida_term = 'altissimo'
80
81      regra = ctrl.Rule(
82          var1[t1] & var2[t2] & var3[t3] & var4[t4],
83          saida[saida_term]
84      )
85
86      regras.append(regra)
87
88  # Sistema fuzzy
89
90  sistema_ctrl = ctrl.ControlSystem(regras)
91  sistema = ctrl.ControlSystemSimulation(sistema_ctrl)
92
93  # Termo linguístico da saída
94
95  def termo_linguistico(valor):
96      if valor <= 5:
97          return "Baixíssimo"
98      elif valor <= 10:
99          return "Baixo"
100      elif valor <= 30:
101          return "Mediano"
102      elif valor <= 70:
103          return "Alto"
104      else:
105          return "Altíssimo"
106
107  # Processamento dos municípios
```

```
107
108 resultados = []
109
110 for _, row in df_regiao1.iterrows():
111     sistema.input['perc_dom_pobres_var1'] = row['perc_dom_pobres_var1']
112     sistema.input['num_idhm'] = row['num_idhm']
113     sistema.input['per_dom_vuln_var3'] = row['per_dom_vuln_var3']
114     sistema.input['perc_pobres_0a11_var1'] = row['perc_pobres_0a11_var1']
115
116     sistema.compute()
117
118     valor = sistema.output['indicador_auxilio']
119     termo = termo_linguistico(valor)
120
121     resultados.append([
122         row['nom_mun'],
123         round(valor, 2),
124         termo
125     ])
126
127 # Tabela final
128
129 tabela_final = pd.DataFrame(
130     resultados,
131     columns=[
132         'MUNICIPIO',
133         'INDICADOR DE NECESSIDADE',
134         'TERMO LINGUISTICO'
135     ]
136 )
137
138 tabela_final.to_excel("resultado_fuzzy.xlsx", index=False)
139
```

MUNICIPIO	INDICADOR DE NECESSIDADE	TERMO LINGUISTICO
Alta Floresta D'Oeste	49,29	Alto
Ariquemes	49,21	Alto
Cabixi	49,27	Alto
Cacoal	49,12	Alto
Cerejeiras	49,21	Alto
Colorado do Oeste	49,26	Alto
Corumbiara	76,06	Altíssimo
Costa Marques	58,69	Alto
Espigão D'Oeste	49,13	Alto
Guajará-Mirim	49,24	Alto
Jaru	49,27	Alto
Ji-Paraná	49,13	Alto
Machadinho D'Oeste	54,88	Alto
Nova Brasilândia D'Oeste	82,85	Altíssimo
Ouro Preto do Oeste	49,3	Alto
Pimenta Bueno	49,21	Alto
Porto Velho	49,2	Alto
Presidente Médici	49,23	Alto
Rio Crespo	82,97	Altíssimo
Rolim de Moura	49,25	Alto
Santa Luzia D'Oeste	51,03	Alto
Vilhena	19,59	Mediano
São Miguel do Guaporé	83,04	Altíssimo
Nova Mamoré	83,03	Altíssimo
Alvorada D'Oeste	49,19	Alto
Alto Alegre dos Parecis	83,05	Altíssimo
Alto Paraíso	82,99	Altíssimo
Buritis	83,05	Altíssimo
Novo Horizonte do Oeste	60,41	Alto
Cacaulândia	83,01	Altíssimo
Campo Novo de Rondônia	82,94	Altíssimo

Candeias do Jamari	49,32	Alto
Castanheiras	83	Altíssimo
Chupinguaia	49,31	Alto
Cujubim	83,07	Altíssimo
Governador Jorge Teixeira	82,9	Altíssimo
Itapuã do Oeste	52,02	Alto
Ministro Andreazza	67,85	Alto
Mirante da Serra	82,88	Altíssimo
Monte Negro	49,31	Alto
Nova União	82,88	Altíssimo
Parecis	49,3	Alto
Pimenteiras do Oeste	49,16	Alto
Primavera de Rondônia	49,15	Alto
São Felipe D'Oeste	62,96	Alto
São Francisco do Guaporé	83,06	Altíssimo
Seringueiras	82,99	Altíssimo
Teixeirópolis	64,98	Alto
Theobroma	82,86	Altíssimo
Urupá	82,84	Altíssimo
Vale do Anari	83,01	Altíssimo
Vale do Paraíso	83,03	Altíssimo
Acrelândia	82,82	Altíssimo
Assis Brasil	49,25	Alto
Brasiléia	49,3	Alto
Bujari	49,27	Alto
Capixaba	71,01	Altíssimo
Cruzeiro do Sul	49,26	Alto
Epitaciolândia	49,14	Alto
Feijó	82,92	Altíssimo
Jordão	82,85	Altíssimo
Mâncio Lima	61	Alto
Manoel Urbano	49,22	Alto

Marechal Thaumaturgo	82,78	Altíssimo
Plácido de Castro	49,25	Alto
Porto Walter	82,87	Altíssimo
Rio Branco	49,19	Alto
Rodrigues Alves	82,97	Altíssimo
Santa Rosa do Purus	82,73	Altíssimo
Senador Guimard	49,13	Alto
Sena Madureira	49,27	Alto
Tarauacá	82,9	Altíssimo
Xapuri	49,19	Alto
Porto Acre	82,91	Altíssimo
Alvarães	82,76	Altíssimo
Amaturá	49,24	Alto
Anamã	82,92	Altíssimo
Anori	82,8	Altíssimo
Apuí	82,89	Altíssimo
Atalaia do Norte	82,65	Altíssimo
Autazes	82,86	Altíssimo
Barcelos	56,52	Alto
Barreirinha	82,88	Altíssimo
Benjamin Constant	82,91	Altíssimo
Beruri	82,83	Altíssimo
Boa Vista do Ramos	82,74	Altíssimo
Boca do Acre	63,57	Alto
Borba	56,72	Alto
Caapiranga	82,9	Altíssimo
Canutama	82,84	Altíssimo
Carauari	49,5	Alto
Careiro	82,96	Altíssimo
Careiro da Várzea	49,95	Alto
Coari	49,19	Alto
Codajás	56,19	Alto

Eirunepé	83	Altíssimo
Envira	82,77	Altíssimo
Fonte Boa	82,93	Altíssimo
Guajará	82,87	Altíssimo
Humaitá	49,29	Alto
Ipixuna	68,71	Alto
Iranduba	49,2	Alto
Itacoatiara	49,32	Alto
Itamarati	82,66	Altíssimo
Itapiranga	49,17	Alto
Japurá	57,37	Alto
Juruá	82,79	Altíssimo
Jutaí	82,63	Altíssimo
Lábrea	82,95	Altíssimo
Manacapuru	49,18	Alto
Manaquiri	82,96	Altíssimo
Manaus	30,89	Alto
Manicoré	82,9	Altíssimo
Maraã	82,79	Altíssimo
Maués	70,35	Altíssimo
Nhamundá	82,76	Altíssimo
Nova Olinda do Norte	70,49	Altíssimo
Novo Airão	49,23	Alto
Novo Aripuanã	82,81	Altíssimo
Parintins	49,19	Alto
Pauini	64,33	Alto
Presidente Figueiredo	49,22	Alto
Rio Preto da Eva	49,16	Alto
Santa Isabel do Rio Negro	69,42	Alto
Santo Antônio do Içá	82,72	Altíssimo
São Gabriel da Cachoeira	49,22	Alto
São Paulo de Olivença	82,77	Altíssimo

São Sebastião do Uatumã	82,84	Altíssimo
Silves	50,44	Alto
Tabatinga	49,26	Alto
Tapauá	82,81	Altíssimo
Tefé	49,25	Alto
Tonantins	82,7	Altíssimo
Uarini	61,51	Alto
Urucará	49,12	Alto
Urucurituba	49,26	Alto
Amajari	82,81	Altíssimo
Alto Alegre	51,37	Alto
Boa Vista	19,6	Mediano
Bonfim	49,26	Alto
Cantá	49,26	Alto
Caracaraí	49,21	Alto
Caroebe	49,23	Alto
Iracema	49,16	Alto
Mucajá	49,33	Alto
Normandia	59,1	Alto
Pacaraima	49,3	Alto
Rorainópolis	49,3	Alto
São João da Baliza	49,32	Alto
São Luiz	49,25	Alto
Uiramutã	82,8	Altíssimo
Abaetetuba	54,89	Alto
Abel Figueiredo	49,21	Alto
Acará	62,26	Alto
Afuá	82,71	Altíssimo
Água Azul do Norte	82,79	Altíssimo
Alenquer	82,98	Altíssimo
Almeirim	49,16	Alto
Altamira	49,31	Alto

Anajás	64,23	Alto
Ananindeua	49,2	Alto
Anapu	82,79	Altíssimo
Augusto Corrêa	82,91	Altíssimo
Aurora do Pará	82,84	Altíssimo
Aveiro	82,94	Altíssimo
Bagre	64,15	Alto
Baião	55,19	Alto
Bannach	82,93	Altíssimo
Barcarena	49,33	Alto
Belém	49,1	Alto
Belterra	62,41	Alto
Benevides	49,13	Alto
Bom Jesus do Tocantins	49,28	Alto
Bonito	69,99	Alto
Bragança	49,24	Alto
Brasil Novo	57,32	Alto
Brejo Grande do Araguaia	49,29	Alto
Breu Branco	82,95	Altíssimo
Breves	82,72	Altíssimo
Bujaru	82,85	Altíssimo
Cachoeira do Piriá	68,26	Alto
Cachoeira do Arari	82,78	Altíssimo
Cametá	82,79	Altíssimo
Canaã dos Carajás	49,32	Alto
Capanema	49,14	Alto
Capitão Poço	53,97	Alto
Castanhal	49,16	Alto
Chaves	49,02	Alto
Colares	49,16	Alto
Conceição do Araguaia	49,25	Alto
Concórdia do Pará	82,97	Altíssimo

Cumaru do Norte	82,9	Altíssimo
Curionópolis	67,28	Alto
Curralinho	64,3	Alto
Curuá	83,01	Altíssimo
Curuçá	49,27	Alto
Dom Eliseu	49,22	Alto
Eldorado do Carajás	83	Altíssimo
Faro	54,72	Alto
Floresta do Araguaia	82,96	Altíssimo
Garrafão do Norte	82,7	Altíssimo
Goianésia do Pará	83,04	Altíssimo
Gurupá	82,77	Altíssimo
Igarapé-Açu	49,26	Alto
Igarapé-Miri	82,69	Altíssimo
Inhangapi	53,33	Alto
Ipixuna do Pará	64,65	Alto
Irituia	83,01	Altíssimo
Itaituba	49,28	Alto
Itupiranga	82,94	Altíssimo
Jacareacanga	64,24	Alto
Jacundá	49,43	Alto
Juruti	49,34	Alto
Limoeiro do Ajuru	57,1	Alto
Mãe do Rio	49,28	Alto
Magalhães Barata	49,19	Alto
Marabá	49,31	Alto
Maracanã	82,98	Altíssimo
Marapanim	49,13	Alto
Marituba	49,12	Alto
Medicilândia	62	Alto
Melgaço	82,65	Altíssimo
Mocajuba	58,55	Alto

Moju	82,96	Altíssimo
Monte Alegre	54,64	Alto
Muaná	82,71	Altíssimo
Nova Esperança do Piriá	64,31	Alto
Nova Ipixuna	82,99	Altíssimo
Nova Timboteua	49,16	Alto
Novo Progresso	49,31	Alto
Novo Repartimento	82,88	Altíssimo
Óbidos	58,39	Alto
Oeiras do Pará	82,72	Altíssimo
Oriximiná	49,13	Alto
Ourém	49,25	Alto
Ourilândia do Norte	49,32	Alto
Pacajá	82,88	Altíssimo
Palestina do Pará	49,27	Alto
Paragominas	49,3	Alto
Parauapebas	49,19	Alto
Pau D'Arco	49,26	Alto
Peixe-Boi	49,18	Alto
Piçarra	82,96	Altíssimo
Placas	52,61	Alto
Ponta de Pedras	57,99	Alto
Portel	82,82	Altíssimo
Porto de Moz	61,84	Alto
Praia	60,1	Alto
Primavera	49,27	Alto
Quatipuru	57,56	Alto
Redenção	49,26	Alto
Rio Maria	49,22	Alto
Rondon do Pará	49,27	Alto
Rurópolis	82,9	Altíssimo
Salinópolis	49,31	Alto

Salvaterra	49,2	Alto
Santa Bárbara do Pará	49,26	Alto
Santa Cruz do Arari	60,26	Alto
Santa Izabel do Pará	49,19	Alto
Santa Luzia do Pará	82,97	Altíssimo
Santa Maria das Barreiras	82,99	Altíssimo
Santa Maria do Pará	49,29	Alto
Santana do Araguaia	49,28	Alto
Santarém	49,26	Alto
Santarém Novo	49,16	Alto
Santo Antônio do Tauá	49,28	Alto
São Caetano de Odivelas	49,26	Alto
São Domingos do Araguaia	53,22	Alto
São Domingos do Capim	82,96	Altíssimo
São Félix do Xingu	82,97	Altíssimo
São Francisco do Pará	49,13	Alto
São Geraldo do Araguaia	49,21	Alto
São João da Ponta	49,26	Alto
São João de Pirabas	62,72	Alto
São João do Araguaia	82,88	Altíssimo
São Miguel do Guamá	49,29	Alto
São Sebastião da Boa Vista	58,13	Alto
Sapucaia	49,29	Alto
Senador José Porfírio	82,68	Altíssimo
Soure	49,32	Alto
Tailândia	65,5	Alto
Terra Alta	49,27	Alto
Terra Santa	49,16	Alto
Tomé-Açu	49,28	Alto
Tracuateua	82,9	Altíssimo
Trairão	82,91	Altíssimo
Tucumã	49,24	Alto

Tucuruí	49,14	Alto
Ulianópolis	82,89	Altíssimo
Uruará	82,96	Altíssimo
Vigia	49,28	Alto
Viseu	82,84	Altíssimo
Vitória do Xingu	82,9	Altíssimo
Xinguara	49,13	Alto
Serra do Navio	49,18	Alto
Amapá	55,16	Alto
Pedra Branca do Amapari	49,16	Alto
Calçoene	54,03	Alto
Cutias	49,17	Alto
Ferreira Gomes	49,24	Alto
Itaubal	49,13	Alto
Laranjal do Jari	49,27	Alto
Macapá	49,24	Alto
Mazagão	82,83	Altíssimo
Oiapoque	49,18	Alto
Porto Grande	49,17	Alto
Pracuúba	52,11	Alto
Santana	49,24	Alto
Tartarugalzinho	82,93	Altíssimo
Vitória do Jari	49,24	Alto
Abreulândia	49,23	Alto
Aguiarnópolis	49,17	Alto
Aliança do Tocantins	49,14	Alto
Almas	49,21	Alto
Alvorada	30,65	Alto
Ananás	49,2	Alto
Angico	49,12	Alto
Aparecida do Rio Negro	49,16	Alto
Aragominas	49,29	Alto

Araguacema	49,28	Alto
Araguaçu	49,2	Alto
Araguaína	19,58	Mediano
Araguanã	49,21	Alto
Araguatins	49,25	Alto
Arapoema	49,18	Alto
Arraias	49,14	Alto
Augustinópolis	49,13	Alto
Aurora do Tocantins	49,16	Alto
Axixá do Tocantins	49,24	Alto
Babaçulândia	49,29	Alto
Bandeirantes do Tocantins	49,22	Alto
Barra do Ouro	49,3	Alto
Barrolândia	49,14	Alto
Bernardo Sayão	49,23	Alto
Bom Jesus do Tocantins	49,28	Alto
Brasilândia do Tocantins	49,24	Alto
Brejinho de Nazaré	49,18	Alto
Buriti do Tocantins	49,29	Alto
Cachoeirinha	49,24	Alto
Campos Lindos	51,1	Alto
Cariri do Tocantins	49,24	Alto
Carmolândia	49,11	Alto
Carrasco Bonito	49,23	Alto
Caseara	49,23	Alto
Centenário	49,26	Alto
Chapada de Areia	49,05	Alto
Chapada da Natividade	49,04	Alto
Colinas do Tocantins	45,22	Alto
Combinado	49,08	Alto
Conceição do Tocantins	49,25	Alto
Couto Magalhães	49,29	Alto

Cristalândia	49,15	Alto
Crixás do Tocantins	49,27	Alto
Darcinópolis	49,21	Alto
Dianópolis	49,16	Alto
Divinópolis do Tocantins	49,12	Alto
Dois Irmãos do Tocantins	49,26	Alto
Dueré	49,13	Alto
Esperantina	49,18	Alto
Fátima	49,12	Alto
Figueirópolis	47,46	Alto
Filadélfia	49,32	Alto
Formoso do Araguaia	49,16	Alto
Tabocão	30,43	Alto
Goianorte	49,26	Alto
Goiatins	49,15	Alto
Guaraí	25,64	Mediano
Gurupi	19,6	Mediano
Ipueiras	49,1	Alto
Itacajá	49,23	Alto
Itaguatins	49,31	Alto
Itapiratins	49,22	Alto
Itaporã do Tocantins	49,15	Alto
Jaú do Tocantins	49,2	Alto
Juarina	49,28	Alto
Lagoa da Confusão	49,29	Alto
Lagoa do Tocantins	49,23	Alto
Lajeado	49,14	Alto
Lavandeira	49,17	Alto
Lizarda	49,13	Alto
Luzinópolis	49,13	Alto
Marianópolis do Tocantins	49,18	Alto
Mateiros	49,31	Alto

Maurilândia do Tocantins	49,27	Alto
Miracema do Tocantins	49,09	Alto
Miranorte	49,15	Alto
Monte do Carmo	49,3	Alto
Monte Santo do Tocantins	49,24	Alto
Palmeiras do Tocantins	49,27	Alto
Muricilândia	49,26	Alto
Natividade	49,23	Alto
Nazaré	49,08	Alto
Nova Olinda	49,16	Alto
Nova Rosalândia	49,04	Alto
Novo Acordo	49,16	Alto
Novo Alegre	49,07	Alto
Novo Jardim	49,15	Alto
Oliveira de Fátima	49,11	Alto
Palmeirante	53,99	Alto
Palmeirópolis	49,16	Alto
Paraíso do Tocantins	19,6	Mediano
Paranã	49,28	Alto
Pau D'Arco	49,18	Alto
Pedro Afonso	32,25	Alto
Peixe	49,11	Alto
Pequizeiro	49,32	Alto
Colméia	49,19	Alto
Pindorama do Tocantins	49,18	Alto
Piraquê	49,25	Alto
Pium	49,21	Alto
Ponte Alta do Bom Jesus	49,26	Alto
Ponte Alta do Tocantins	49,15	Alto
Porto Alegre do Tocantins	49,22	Alto
Porto Nacional	19,59	Mediano
Praia Norte	49,28	Alto

Presidente Kennedy	49,16	Alto
Pugmil	49,05	Alto
Recursolândia	49,12	Alto
Riachinho	49,06	Alto
Rio da Conceição	49,22	Alto
Rio dos Bois	49,14	Alto
Rio Sono	49,15	Alto
Sampaio	49,1	Alto
Sandolândia	49,2	Alto
Santa Fé do Araguaia	49,16	Alto
Santa Maria do Tocantins	49,24	Alto
Santa Rita do Tocantins	49,28	Alto
Santa Rosa do Tocantins	49,15	Alto
Santa Tereza do Tocantins	49,15	Alto
Santa Terezinha do Tocantins	49,11	Alto
São Bento do Tocantins	49,21	Alto
São Félix do Tocantins	49,13	Alto
São Miguel do Tocantins	49,26	Alto
São Salvador do Tocantins	49,13	Alto
São Sebastião do Tocantins	49,26	Alto
São Valério	49,15	Alto
Silvanópolis	49,11	Alto
Sítio Novo do Tocantins	49,3	Alto
Sucupira	49,23	Alto
Taguatinga	49,16	Alto
Taipas do Tocantins	49,08	Alto
Talismã	49,21	Alto
Palmas	17,18	Mediano
Tocantínia	49,29	Alto
Tocantinópolis	49,2	Alto
Tupirama	49,15	Alto
Tupiratins	49,23	Alto

Wanderlândia
Xambioá

49,15
49,24

Alto
Alto