

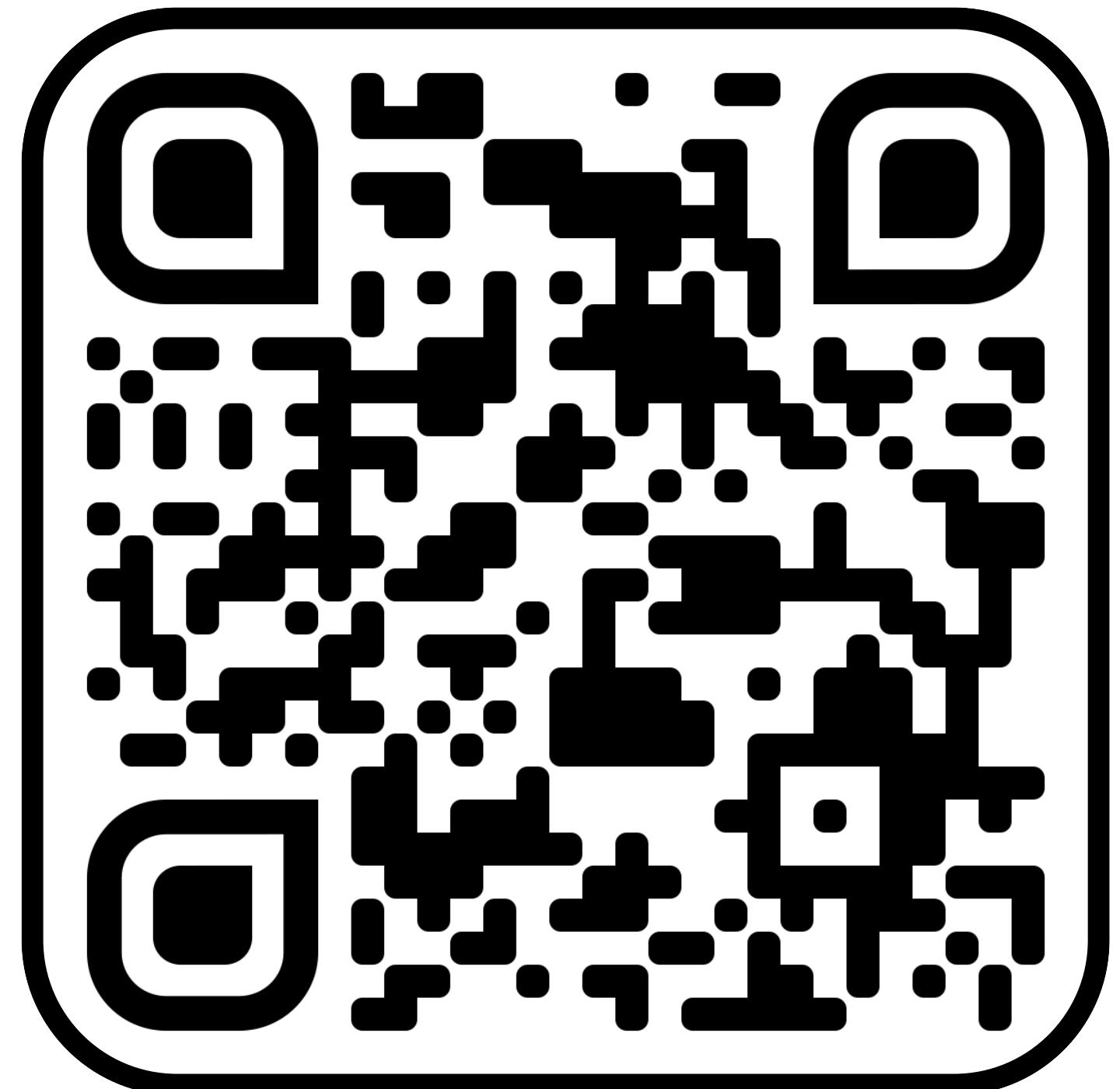
Monte Carlo

Trabalho N3 - Pesquisa Operacional

- Maruan Biasi El Achkar
- Ricardo Falcão Schlieper

Curso: Engenharia de Software
Matéria: Pesquisa Operacional
Professor: Jaisson Potrich dos Reis





Objetivo: Prever safras futuras

6 grãos diferentes | 6 fazendas | 4 próximos anos | em Tonelada por hectare





 **Milho**



 **Soja**



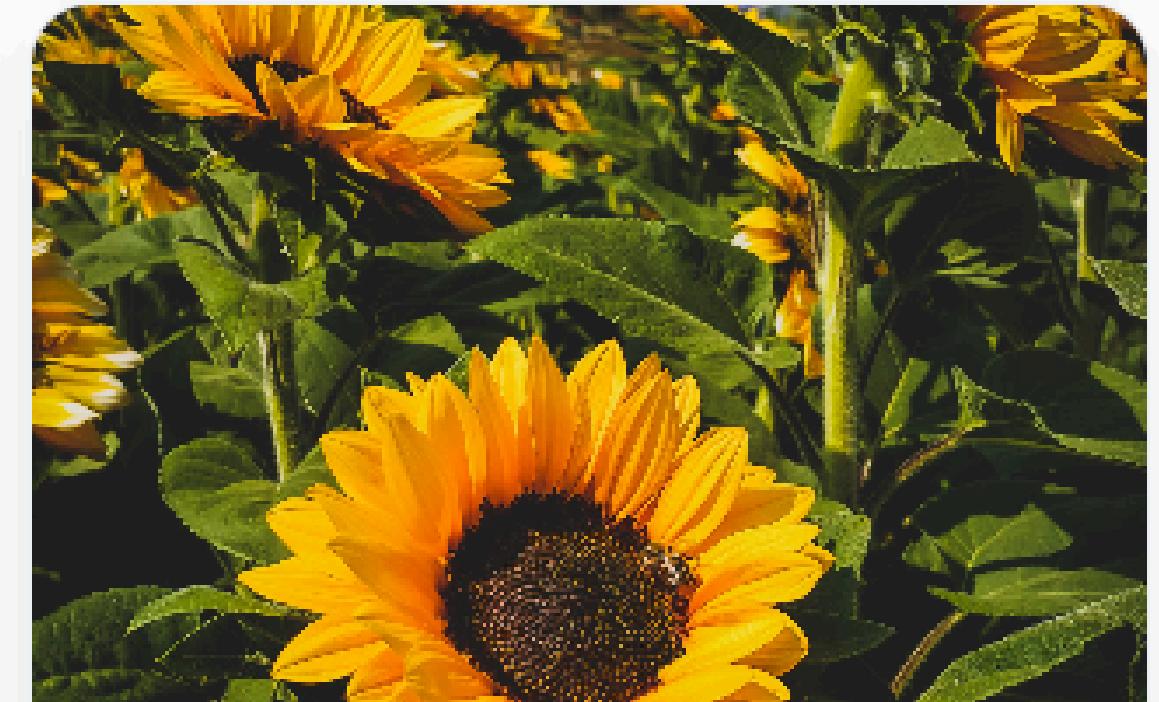
 **Sorgo**



 **Trigo**



 **Aveia**



 **Girassol**



Mapa das Fazendas

Clique em um marcador para rolar até a fazenda correspondente.





Fazenda Maruim

Localização: Corupá – SC

Área: 300 ha

Porte: Pequena

Alta água Ácido Argilosa Frio Baixa radiação

Média fertilidade

A primeira fazenda da Jaisson Rações, com 300 hectares de solo argiloso e um clima frio e equilibrado. Produz o melhor da regiao.



Fazenda Pantanal

Localização: Dourados – MS

Área: 1.200 ha

Porte: Média

Alta água Básico Arenosa Quente Alta radiação

Baixa fertilidade

Rodeado de pantano, jacares e oncas pintadas, a fazenda Pantanal, com 1.200 hectares de solo arenoso e um clima quente e radiação intensa. Destino perfeito para quem quer plantar graos e pescar nas horas vagas.



Fazenda Gaúcha

Localização: Passo Fundo – RS

Área: 400 ha

Porte: Pequena

Alta água Ácido Argilosa Frio Média radiação

Alta fertilidade

No coracao gaúcho, a fazenda Gaúcha, com 400 hectares de solo argiloso e um clima frio e equilibrado. Produz graos bons tche.



Fazenda Cerrado

Localização: Sorriso – MT

Área: 2.500 ha

Porte: Grande

Média água Básico Arenosa Quente Alta radiação

Baixa fertilidade

Na beira da floresta amazonica, a fazenda Cerrado, com 2.500 hectares de solo arenoso e um clima quente e radiação intensa. Destino perfeito para quem quer desmatar a floresta mais importante do mundo em troca de mais espaço para agricultura.



Fazenda Campos Gerais

Localização: Ponta Grossa – PR

Área: 500 ha

Porte: Pequena

Média água Ácido Argilosa Frio Média radiação

Média fertilidade

Nos campos Gerais do Paraná, a fazenda Campos Gerais, com 500 hectares de solo argiloso e um clima frio e equilibrado. Produz muitos graos.



Fazenda Capital

Localização: Rio Verde – GO

Área: 2.200 ha

Porte: Grande

Média água Básico Arenosa Quente Alta radiação

Baixa fertilidade

Perto da Capital Brasília, a fazenda Capital não foi criada por Juscelino Kubitschek, mas sim por Jaisson, que desbravou o velho oeste brasileiro em busca de ricas terras para seus graos.

Produção Base: Por Fazenda

$$P_{ajustada}(g, f) = P_{base}(g) \cdot \left(1 + \frac{1}{100} \sum_{i=1}^n m_i(g, f) \cdot w_i(g) \right)$$

Fazenda Maruim		Fazenda Gaúcha		Fazenda Campos Gerais		Fazenda Pantanal		Fazenda Cerrado		Fazenda Capital	
Grão	Produção Ajustada (t/ha)	Grão	Produção Ajustada (t/ha)	Grão	Produção Ajustada (t/ha)	Grão	Produção Ajustada (t/ha)	Grão	Produção Ajustada (t/ha)	Grão	Produção Ajustada (t/ha)
Aveia	3.7	Aveia	3.92	Aveia	5.6	Aveia	0	Aveia	1.01	Aveia	1.01
Girassol	0.72	Girassol	0	Girassol	0.72	Girassol	2.41	Girassol	2.41	Girassol	2.41
Milho	4.2	Milho	6	Milho	1.56	Milho	8.64	Milho	6	Milho	6
Soja	2.51	Soja	3.57	Soja	0.99	Soja	5.55	Soja	4.03	Soja	4.03
Sorgo	1.02	Sorgo	0	Sorgo	1.02	Sorgo	4.54	Sorgo	4.54	Sorgo	4.54
Trigo	3.96	Trigo	4.2	Trigo	6	Trigo	0	Trigo	1.08	Trigo	1.08

Parâmetros: Climáticos

- Chuva anual (mm)
- Temperatura média ($^{\circ}\text{C}$)
- Radiação solar (MJ/m^2)



Índice: Climático

- *Fórmula do Índice:*

$$I_{\text{clima}} = 0.4 f(\text{chuva}) + 0.4 f(\text{temperatura}) + 0.2 f(\text{radiação})$$

- *Ajuste por grão:*

$$I_{\text{clima,cultura}} = I_{\text{clima}} \times S_{\text{chuva}} \times S_{\text{temp}} \times S_{\text{rad}}$$



```
# =====
# 3) CLIMA
# =====

def sample_clima(fazenda, rng=rng):
    """Amostra única de clima anual com SD ampliado."""
    p = CLIMA[fazenda]

    chuva_sd = p["chuva_sd"] * 1.5
    temp_sd = p["temp_sd"] * 1.4
    rad_sd = p["rad_sd"] * 1.5

    chuva = sample_normal_trunc(p["chuva_mu"], chuva_sd, 300, 1800, rng=rng)
    temp = sample_normal_trunc(p["temp_mu"], temp_sd, 12, 32, rng=rng)
    rad = sample_normal_trunc(p["rad_mu"], rad_sd, 10, 25, rng=rng)

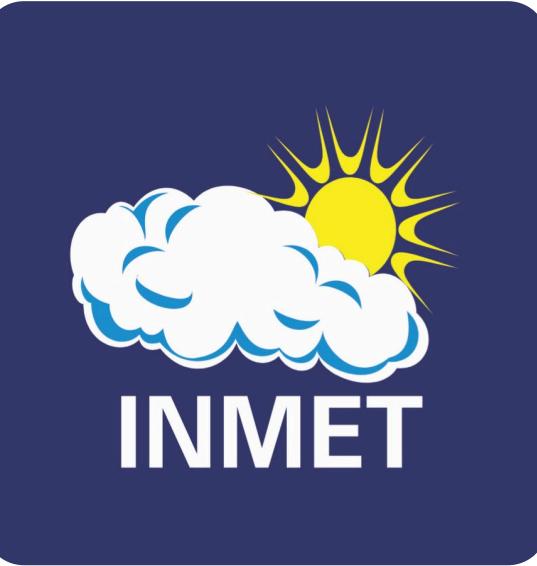
    return {"chuva_mm": chuva, "temp_c": temp, "rad_mj": rad}

def sample_clima_vec(fazenda, size, rng=rng):
    """Amostras vetorializadas (Monte Carlo) com SD ampliado."""
    p = CLIMA[fazenda]

    chuva_sd = p["chuva_sd"] * 1.5
    temp_sd = p["temp_sd"] * 1.4
    rad_sd = p["rad_sd"] * 1.5

    chuva = sample_normal_trunc(p["chuva_mu"], chuva_sd, 300, 1800, size=size, rng=rng)
    temp = sample_normal_trunc(p["temp_mu"], temp_sd, 12, 32, size=size, rng=rng)
    rad = sample_normal_trunc(p["rad_mu"], rad_sd, 10, 25, size=size, rng=rng)

    return {"chuva_mm": chuva, "temp_c": temp, "rad_mj": rad}
```



```
# Clima (mu/sd)
CLIMA = {
    "Maruim_SC": {"chuva_mu": 900, "chuva_sd": 180,
    "temp_mu": 20.0, "temp_sd": 1.5, "rad_mu": 15.0,
    "rad_sd": 1.8},
    "Gaucha_RS": {"chuva_mu": 850, "chuva_sd": 160,
    "temp_mu": 19.0, "temp_sd": 1.8, "rad_mu": 15.5,
    "rad_sd": 2.0},
    "CamposGerais_PR": {"chuva_mu": 950, "chuva_sd": 200,
    "temp_mu": 18.5, "temp_sd": 2.0, "rad_mu": 14.8,
    "rad_sd": 1.6},
    "Pantanal_MS": {"chuva_mu": 780, "chuva_sd": 170,
    "temp_mu": 23.5, "temp_sd": 1.5, "rad_mu": 17.0,
    "rad_sd": 2.2},
    "Cerrado_MT": {"chuva_mu": 820, "chuva_sd": 220,
    "temp_mu": 25.0, "temp_sd": 1.8, "rad_mu": 18.5,
    "rad_sd": 2.5},
    "Capital_GO": {"chuva_mu": 860, "chuva_sd": 210,
    "temp_mu": 24.5, "temp_sd": 1.6, "rad_mu": 18.0,
    "rad_sd": 2.1},
}
```

Parâmetros: Solo

- Nitrogênio (N)
- Fósforo (P)
- Potássio (K)
- Matéria Orgânica (MO)
- Sódio (Na)
- Compactação do solo (MPa)



Índice: Fertilidade (Solo)

- *Fórmula do Índice:*

$$I_{\text{fert}} = 0.25f(N) + 0.25f(P) + 0.20f(K) + 0.15f(MO) + 0.07f_{\text{Na-penalizado}} + 0.08f_{\text{Comp-penalizado}}$$



```
def indice_fertilidade(fazenda):
    """Índice de fertilidade fixo por fazenda."""
    s = SOLO[fazenda]

    fN = clima_factor(s["N"], ideal=30, span=15)
    fP = clima_factor(s["P"], ideal=16, span=10)
    fK = clima_factor(s["K"], ideal=110, span=40)
    fM0 = clima_factor(s["M0"], ideal=3.2, span=2.0)

    fNa = clima_factor(s["Na"], ideal=0, span=5)
    fComp = clima_factor(s["Comp"], ideal=1.4,
                         span=1.0)

    fNa_pen = 1 - (fNa - 1) * 0.4
    fComp_pen = 1 - (fComp - 1) * 0.4

    I = (
        fN*0.25 +
        fP*0.25 +
        fK*0.20 +
        fM0*0.15 +
        fNa_pen*0.07 +
        fComp_pen*0.08
    )
    return np.clip(I, 0.7, 1.2)
```



```
SOLO = {
    "Maruim_SC": {"N": 28, "P": 14, "K": 110, "M0": 3.2, "Na": 2, "Comp": 1.6},
    "Gaucha_RS": {"N": 32, "P": 18, "K": 130, "M0": 3.8, "Na": 2, "Comp": 1.7},
    "CamposGerais_PR": {"N": 30, "P": 16, "K": 120, "M0": 3.5, "Na": 2, "Comp": 1.9},
    "Pantanal_MS": {"N": 24, "P": 12, "K": 105, "M0": 2.8, "Na": 4, "Comp": 1.8},
    "Cerrado_MT": {"N": 20, "P": 10, "K": 95, "M0": 2.3, "Na": 2, "Comp": 2.1},
    "Capital_GO": {"N": 22, "P": 11, "K": 100, "M0": 2.5, "Na": 2, "Comp": 2.0},
}
```

Parâmetros: Manejo

- Falha no plantio (%)
- Eficiência do herbicida (%)
- Perdas na colheita (%)



Índice: Manejo

- *Fórmula do Índice:*

$$F = 1 - \text{falha}$$

$$C = 1 - (1 - \text{herbicida}) \times 0.5$$

$$L = 1 - \text{perda}$$

$$I_{\text{manejo}} = F \times C \times L$$



```
def indice_manejo(rng=rng):
    """Índice de manejo escalar"""
    falha = sample_triangular(MANEJO["falha_plantio_pct"], rng=rng) / 100
    herb = sample_triangular(MANEJO["efic_herbicida_pct"], rng=rng) / 100
    perda = sample_triangular(MANEJO["perda_colheita_pct"], rng=rng) / 100

    competicao = 1 - (1 - herb)*0.5
    bruto = (1 - falha) * competicao * (1 - perda)

    return np.clip(bruto, 0.7, 1.1)

def indice_manejo_vec(size, rng=rng):
    """VERSAO VETORIZADA"""
    falha = sample_triangular(MANEJO["falha_plantio_pct"], size=size, rng=rng) / 100
    herb = sample_triangular(MANEJO["efic_herbicida_pct"], size=size, rng=rng) / 100
    perda = sample_triangular(MANEJO["perda_colheita_pct"], size=size, rng=rng) / 100

    competicao = 1 - (1 - herb)*0.5
    bruto = (1 - falha) * competicao * (1 - perda)

    return np.clip(bruto, 0.7, 1.1)
```



JOHN DEERE

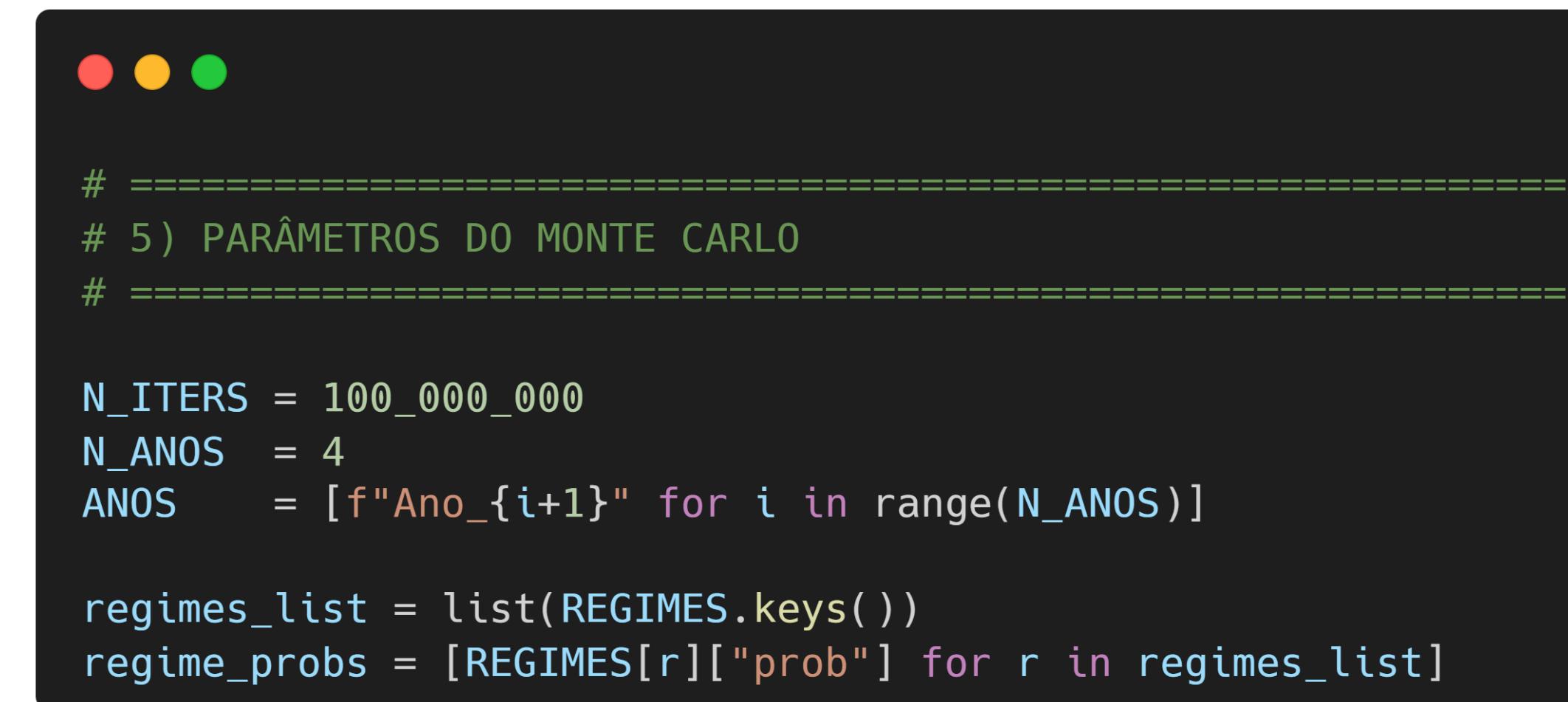


```
# Manejo (parâmetros triangulares %)
MANEJO = {
    "falha_plantio_pct": {"min": 4, "mode": 8, "max": 14},
    "efic_herbicida_pct": {"min": 70, "mode": 80, "max": 90},
    "perda_colheita_pct": {"min": 6, "mode": 9, "max": 15},
}
```

Fórmula Geral da Produtividade

$$Y_{\text{sim}} = Y_{\text{base}} \times I_{\text{clima,cultura}} \times I_{\text{manejo}} \times I_{\text{fertilidade}}$$

(Resposta em Toneladas por Hectare)



```
# =====
# 5) PARÂMETROS DO MONTE CARLO
# =====

N_ITERS = 100_000_000
N_ANOS  = 4
ANOS    = [f"Ano_{i+1}" for i in range(N_ANOS)]

regimes_list = list(REGIMES.keys())
regime_probs = [REGIMES[r]["prob"] for r in regimes_list]
```



```
# =====
# 6) MONTE CARLO
# =====

def simular_monte_carlo(
    fazendas=FAZENDAS,
    anos=ANOS,
    n_iters=N_ITERS,
    rng=rng
):
    resultados = []
    clima_rows = []
    shock_prev = 1.0

    for fazenda in fazendas:
        graos = GRAOS_POR_FAZENDA[fazenda]
        I_fert = indice_fertilidade(fazenda)

        for ano in anos:
            # 1) regime anual
            regime = rng.choice(regimes_list, p=regime_probs)
            reg = REGIMES[regime]

            # 2) choque anual autocorrelacionado
            shock_ano = 0.6 * shock_prev + 0.4 * rng.normal(1.0, 0.04)
            shock_prev = shock_ano
            shock_ano = np.clip(shock_ano, 0.85, 1.15)

            # 3) clima base vetorizado (Bloco 3 já com SD aumentado)
            clima = sample_clima_vec(fazenda, n_iters, rng=rng)
            clima["chuva_mm"] *= (1 + reg["chuva"]) * shock_ano
            clima["temp_c"] += reg["temp"] * shock_ano
            clima["rad_mj"] *= (1 + reg["rad"]) * shock_ano

            # salvar estatísticas de chuva desse ano/fazenda
            chuva_vec = clima["chuva_mm"]
            c_p10, c_p50, c_p90 = np.percentile(chuva_vec, [10, 50, 90])

            clima_rows.append({
                "Fazenda": fazenda,
                "Ano": ano,
                "Regime_Climatico": regime,
                "Choque_Anual": float(shock_ano),
                "Chuva_media_mm": float(np.mean(chuva_vec)),
                "Chuva_p10_mm": float(c_p10),
                "Chuva_p50_mm": float(c_p50),
                "Chuva_p90_mm": float(c_p90),
            })

```

```
# 4) índice climático base (sem normalização)
I_clim = indice_clima(fazenda, clima)
I_clim = np.clip(I_clim, 0.50, 1.40)

# 5) índice manejo base (sem normalização)
I_man = indice_manejo_vec(n_iters, rng=rng)
I_man = np.clip(I_man, 0.60, 1.35)

man_shock = rng.normal(1.0, 0.03)
I_man = np.clip(I_man * man_shock, 0.60, 1.40)

# 6) culturas
for grao in graos:
    sens = SENS_CULTURA[grafo]

    I_clim_grao = I_clim * sens["chuva"] * sens["temp"] * sens["rad"]
    I_clim_grao = np.clip(I_clim_grao, 0.55, 1.35)

    y_base = Y_ADJ[fazenda][grafo]
    y_sim = y_base * I_clim_grao * I_man * I_fert

    media = float(np.mean(y_sim))
    desvio = float(np.std(y_sim, ddof=1))
    risco = float(desvio / media) if media > 0 else np.nan

    p10, p50, p90 = np.percentile(y_sim, [10, 50, 90])

    resultados.append({
        "Fazenda": fazenda,
        "Grao": grao,
        "Ano": ano,
        "Media_t_ha": media,
        "Desvio_t_ha": desvio,
        "Risco_CV": risco,
        "P10_t_ha": float(p10),
        "P50_t_ha": float(p50),
        "P90_t_ha": float(p90),
        "Regime_Climatico": regime,
        "Choque_Anual": float(shock_ano),
    })

df_prod = pd.DataFrame(resultados)
df_clima = pd.DataFrame(clima_rows)
return df_prod, df_clima

# rodar simulação
df_resultados, df_clima = simular_monte_carlo()

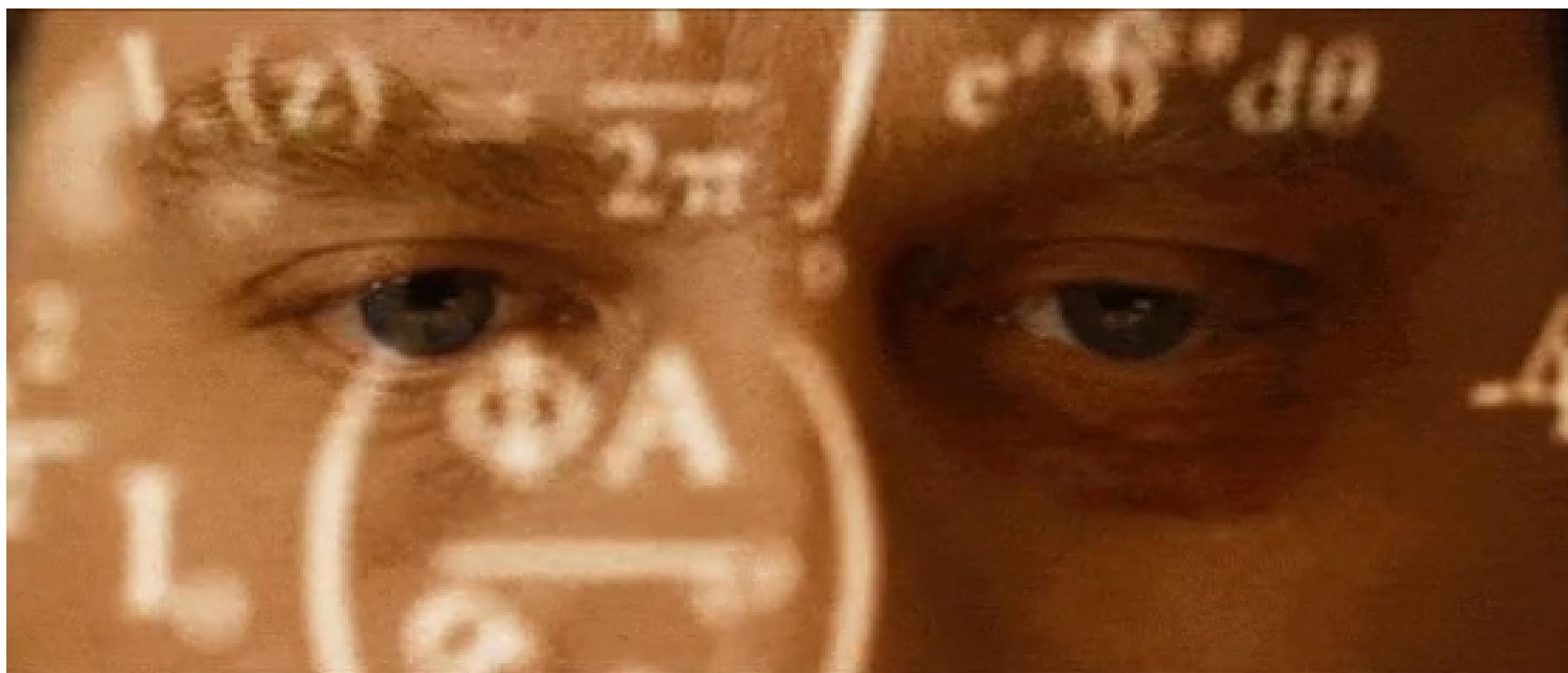
df_final = df_resultados.copy()
for col in ["Media_t_ha", "Desvio_t_ha", "Risco_CV", "P10_t_ha", "P50_t_ha", "P90_t_ha"]:
    df_final[col] = df_final[col].round(3)

df_clima.head()
```

RESULTADOS

$$Y_{\text{sim}} = Y_{\text{base}} \times I_{\text{clima,cultura}} \times I_{\text{manejo}} \times I_{\text{fertilidade}}$$

Modelo estruturado, resolvendo...



Fazenda Maruim (SC)

Milho

Ano	Prod. Esperada (t/ha)	Desvio	Risco (CV)
1	2.774 t.	0.338 t.	12.2%
2	2.816 t.	0.349 t.	12.4%
3	2.704 t.	0.331 t.	12.2%
4	2.632 t.	0.321 t.	12.2%

Aveia

Ano	Prod. Esperada (t/ha)	Desvio	Risco (CV)
1	2.211 t.	0.269 t.	12.2%
2	2.245 t.	0.278 t.	12.4%
3	2.155 t.	0.264 t.	12.2%
4	2.098 t.	0.256 t.	12.2%

Sorgo

Ano	Prod. Esperada (t/ha)	Desvio	Risco (CV)
1	0.551 t.	0.067 t.	12.2%
2	0.560 t.	0.069 t.	12.4%
3	0.537 t.	0.066 t.	12.2%
4	0.523 t.	0.064 t.	12.2%

Soja

Ano	Prod. Esperada (t/ha)	Desvio	Risco (CV)
1	1.435 t.	0.175 t.	12.2%
2	1.457 t.	0.181 t.	12.4%
3	1.399 t.	0.171 t.	12.2%
4	1.362 t.	0.166 t.	12.2%

Girassol

Ano	Prod. Esperada (t/ha)	Desvio	Risco (CV)
1	0.363 t.	0.043 t.	11.9%
2	0.369 t.	0.044 t.	12.1%
3	0.354 t.	0.042 t.	11.9%
4	0.344 t.	0.041 t.	11.9%

Trigo

Ano	Prod. Esperada (t/ha)	Desvio	Risco (CV)
1	2.367 t.	0.288 t.	12.2%
2	2.403 t.	0.298 t.	12.4%
3	2.306 t.	0.282 t.	12.2%
4	2.245 t.	0.274 t.	12.2%

Fazenda Gaúcha (RS)

Aveia

Ano	Prod. Esperada	Desvio	Risco (CV)
1	2.126 t.	0.248 t.	11.7%
2	2.149 t.	0.251 t.	11.7%
3	2.122 t.	0.260 t.	12.2%
4	2.169 t.	0.253 t.	11.7%

Soja

Ano	Prod. Esperada	Desvio	Risco (CV)
1	1.853 t.	0.216 t.	11.7%
2	1.873 t.	0.219 t.	11.7%
3	1.849 t.	0.226 t.	12.2%
4	1.891 t.	0.221 t.	11.7%

Milho

Ano	Prod. Esperada	Desvio	Risco (CV)
1	3.596 t.	0.420 t.	11.7%
2	3.635 t.	0.424 t.	11.7%
3	3.590 t.	0.439 t.	12.2%
4	3.670 t.	0.429 t.	11.7%

Trigo

Ano	Prod. Esperada	Desvio	Risco (CV)
1	2.278 t.	0.266 t.	11.7%
2	2.302 t.	0.269 t.	11.7%
3	2.273 t.	0.278 t.	12.2%
4	2.324 t.	0.272 t.	11.7%

Fazenda Campos Gerais (PR)

Aveia

Ano	Prod. Esperada	Desvio	Risco (CV)
1	3.115 t.	0.380 t.	12.2%
2	3.224 t.	0.392 t.	12.2%
3	3.177 t.	0.386 t.	12.2%
4	3.188 t.	0.388 t.	12.2%

Milho

Ano	Prod. Esperada	Desvio	Risco (CV)
1	0.959 t.	0.117 t.	12.2%
2	0.993 t.	0.121 t.	12.2%
3	0.978 t.	0.119 t.	12.2%
4	0.982 t.	0.119 t.	12.2%

Sorgo

Ano	Prod. Esperada	Desvio	Risco (CV)
1	0.513 t.	0.063 t.	12.2%
2	0.531 t.	0.065 t.	12.2%
3	0.523 t.	0.064 t.	12.2%
4	0.525 t.	0.064 t.	12.2%

Girassol

Ano	Prod. Esperada	Desvio	Risco (CV)
1	0.338 t.	0.040 t.	11.8%
2	0.350 t.	0.041 t.	11.7%
3	0.345 t.	0.040 t.	11.7%
4	0.346 t.	0.040 t.	11.7%

Soja

Ano	Prod. Esperada	Desvio	Risco (CV)
1	0.527 t.	0.064 t.	12.2%
2	0.545 t.	0.066 t.	12.2%
3	0.537 t.	0.065 t.	12.2%
4	0.539 t.	0.066 t.	12.2%

Trigo

Ano	Prod. Esperada	Desvio	Risco (CV)
1	3.337 t.	0.407 t.	12.2%
2	3.454 t.	0.420 t.	12.2%
3	3.404 t.	0.414 t.	12.2%
4	3.416 t.	0.415 t.	12.2%

Fazenda Pantanal (MS)

Girassol

Ano	Prod. Esperada	Desvio	Risco (CV)
1	1.213 t.	0.132 t.	10.9%
2	1.236 t.	0.138 t.	11.2%
3	1.256 t.	0.139 t.	11.0%
4	1.240 t.	0.134 t.	10.8%

Soja

Ano	Prod. Esperada	Desvio	Risco (CV)
1	3.173 t.	0.346 t.	10.9%
2	3.233 t.	0.366 t.	11.3%
3	3.286 t.	0.365 t.	11.1%
4	3.245 t.	0.354 t.	10.9%

Milho

Ano	Prod. Esperada	Desvio	Risco (CV)
1	5.706 t.	0.623 t.	10.9%
2	5.814 t.	0.657 t.	11.3%
3	5.909 t.	0.656 t.	11.1%
4	5.834 t.	0.636 t.	10.9%

Sorgo

Ano	Prod. Esperada	Desvio	Risco (CV)
1	2.453 t.	0.268 t.	10.9%
2	2.500 t.	0.283 t.	11.3%
3	2.540 t.	0.282 t.	11.1%
4	2.508 t.	0.274 t.	10.9%

Fazenda Cerrado (MT)

Aveia

Ano	Prod. Esperada	Desvio	Risco (CV)
1	0.483 t.	0.058 t.	12.0%
2	0.500 t.	0.060 t.	11.9%
3	0.464 t.	0.056 t.	12.0%
4	0.466 t.	0.056 t.	12.0%

Sorgo

Ano	Prod. Esperada	Desvio	Risco (CV)
1	1.965 t.	0.236 t.	12.0%
2	2.033 t.	0.243 t.	11.9%
3	1.886 t.	0.226 t.	12.0%
4	1.895 t.	0.228 t.	12.0%

Milho

Ano	Prod. Esperada	Desvio	Risco (CV)
1	3.174 t.	0.380 t.	12.0%
2	3.284 t.	0.392 t.	11.9%
3	3.046 t.	0.365 t.	12.0%
4	3.061 t.	0.368 t.	12.0%

Girassol

Ano	Prod. Esperada	Desvio	Risco (CV)
1	0.972 t.	0.115 t.	11.8%
2	1.006 t.	0.118 t.	11.8%
3	0.933 t.	0.110 t.	11.8%
4	0.937 t.	0.111 t.	11.8%

Trigo

Ano	Prod. Esperada	Desvio	Risco (CV)
1	0.517 t.	0.062 t.	12.0%
2	0.535 t.	0.064 t.	11.9%
3	0.496 t.	0.059 t.	12.0%
4	0.498 t.	0.060 t.	12.0%

Soja

Ano	Prod. Esperada	Desvio	Risco (CV)
1	1.846 t.	0.221 t.	12.0%
2	1.910 t.	0.228 t.	11.9%
3	1.771 t.	0.212 t.	12.0%
4	1.780 t.	0.214 t.	12.0%

Fazenda Capital (GO)

Aveia

Ano	Prod. Esperada	Desvio	Risco (CV)
1	0.564 t.	0.064 t.	11.4%
2	0.545 t.	0.062 t.	11.4%
3	0.534 t.	0.062 t.	11.5%
4	0.571 t.	0.065 t.	11.4%

Milho

Ano	Prod. Esperada	Desvio	Risco (CV)
1	3.700 t.	0.421 t.	11.4%
2	3.576 t.	0.406 t.	11.4%
3	3.507 t.	0.404 t.	11.5%
4	3.751 t.	0.426 t.	11.4%

Sorgo

Ano	Prod. Esperada	Desvio	Risco (CV)
1	2.291 t.	0.261 t.	11.4%
2	2.214 t.	0.251 t.	11.4%
3	2.171 t.	0.250 t.	11.5%
4	2.322 t.	0.264 t.	11.4%

Girassol

Ano	Prod. Esperada	Desvio	Risco (CV)
1	1.133 t.	0.128 t.	11.3%
2	1.095 t.	0.123 t.	11.3%
3	1.074 t.	0.123 t.	11.4%
4	1.148 t.	0.129 t.	11.3%

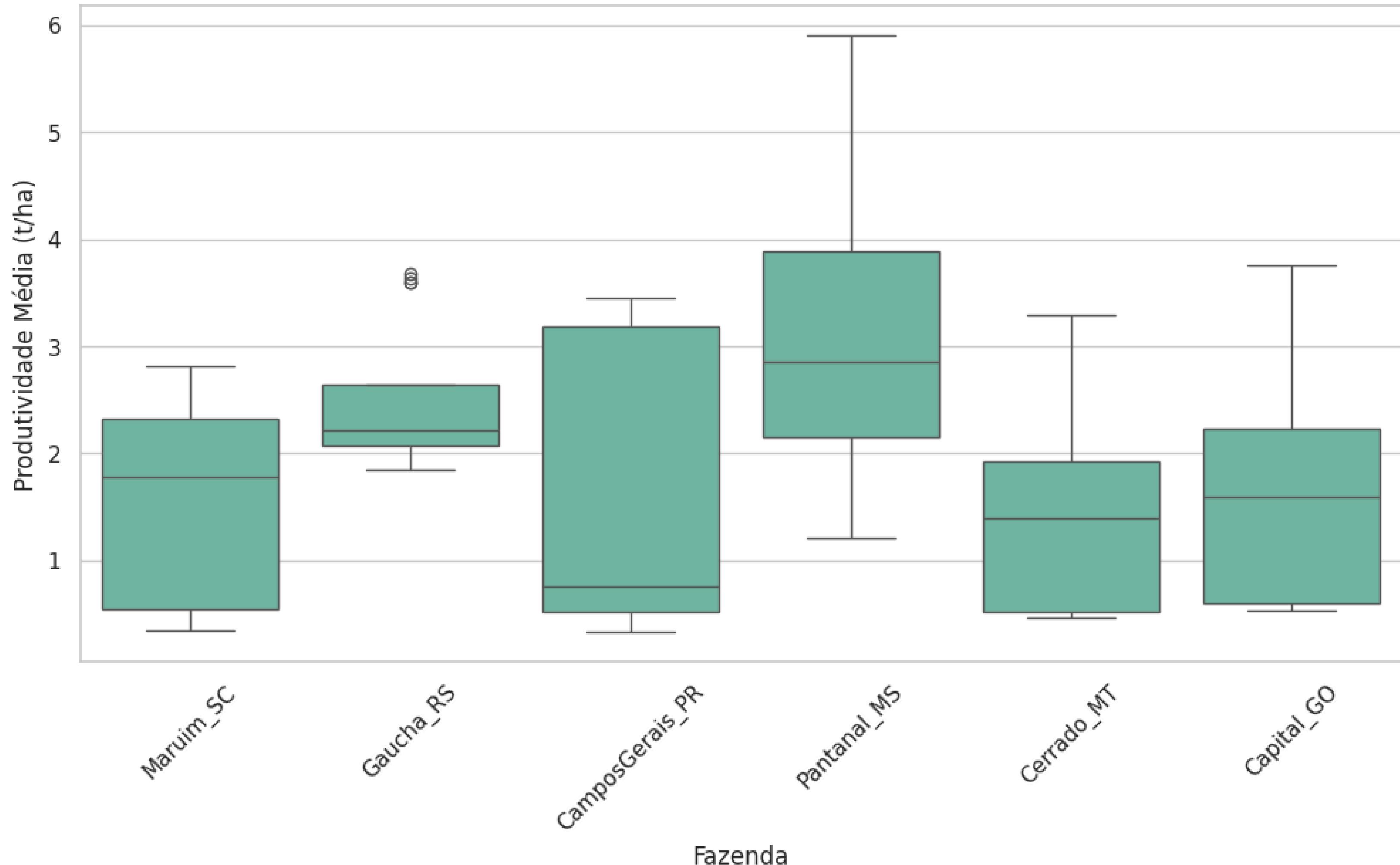
Soja

Ano	Prod. Esperada	Desvio	Risco (CV)
1	2.152 t.	0.245 t.	11.4%
2	2.079 t.	0.236 t.	11.4%
3	2.040 t.	0.235 t.	11.5%
4	2.181 t.	0.248 t.	11.4%

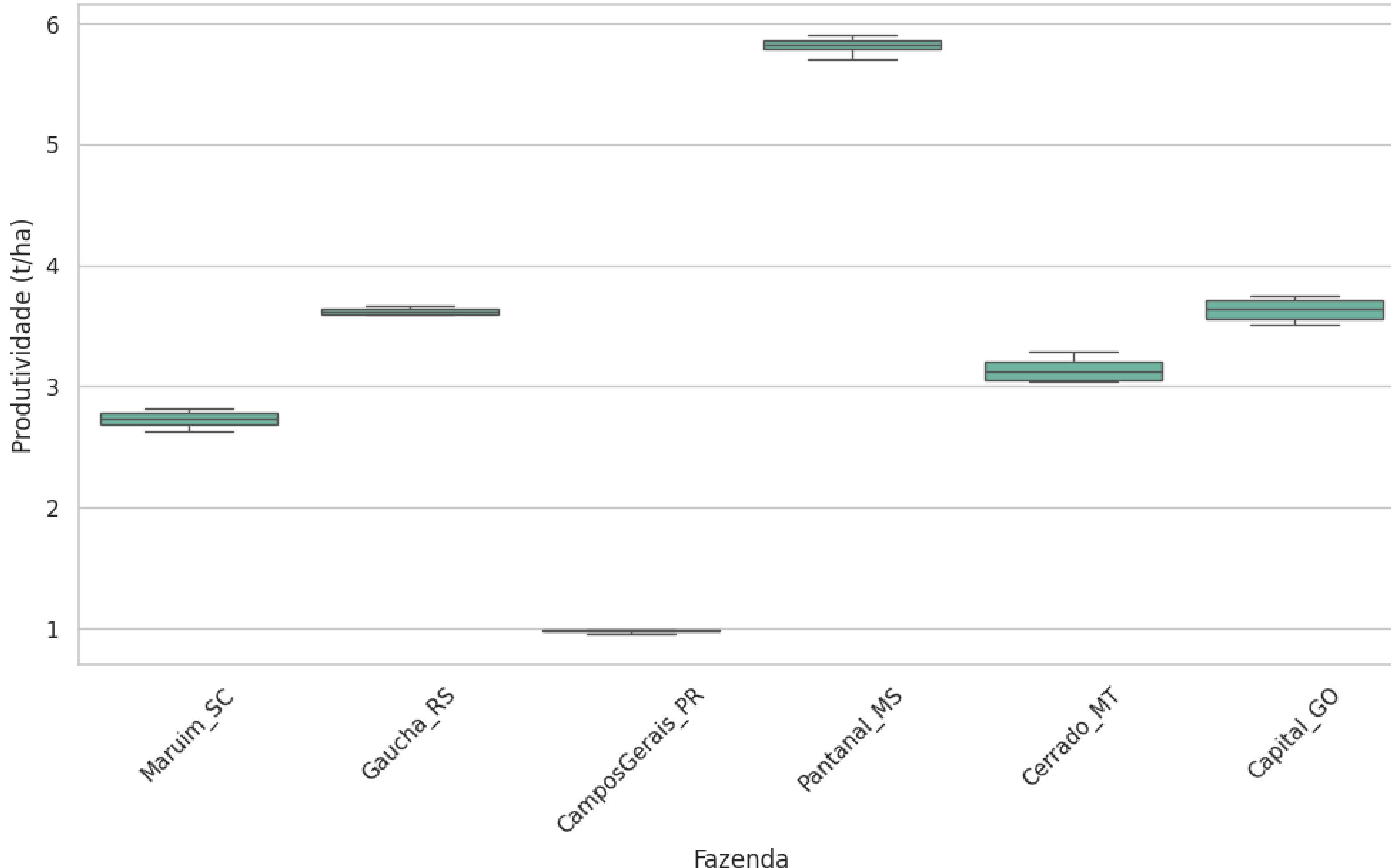
Trigo

Ano	Prod. Esperada	Desvio	Risco (CV)
1	0.603 t.	0.069 t.	11.4%
2	0.582 t.	0.066 t.	11.4%
3	0.571 t.	0.066 t.	11.5%
4	0.611 t.	0.069 t.	11.4%

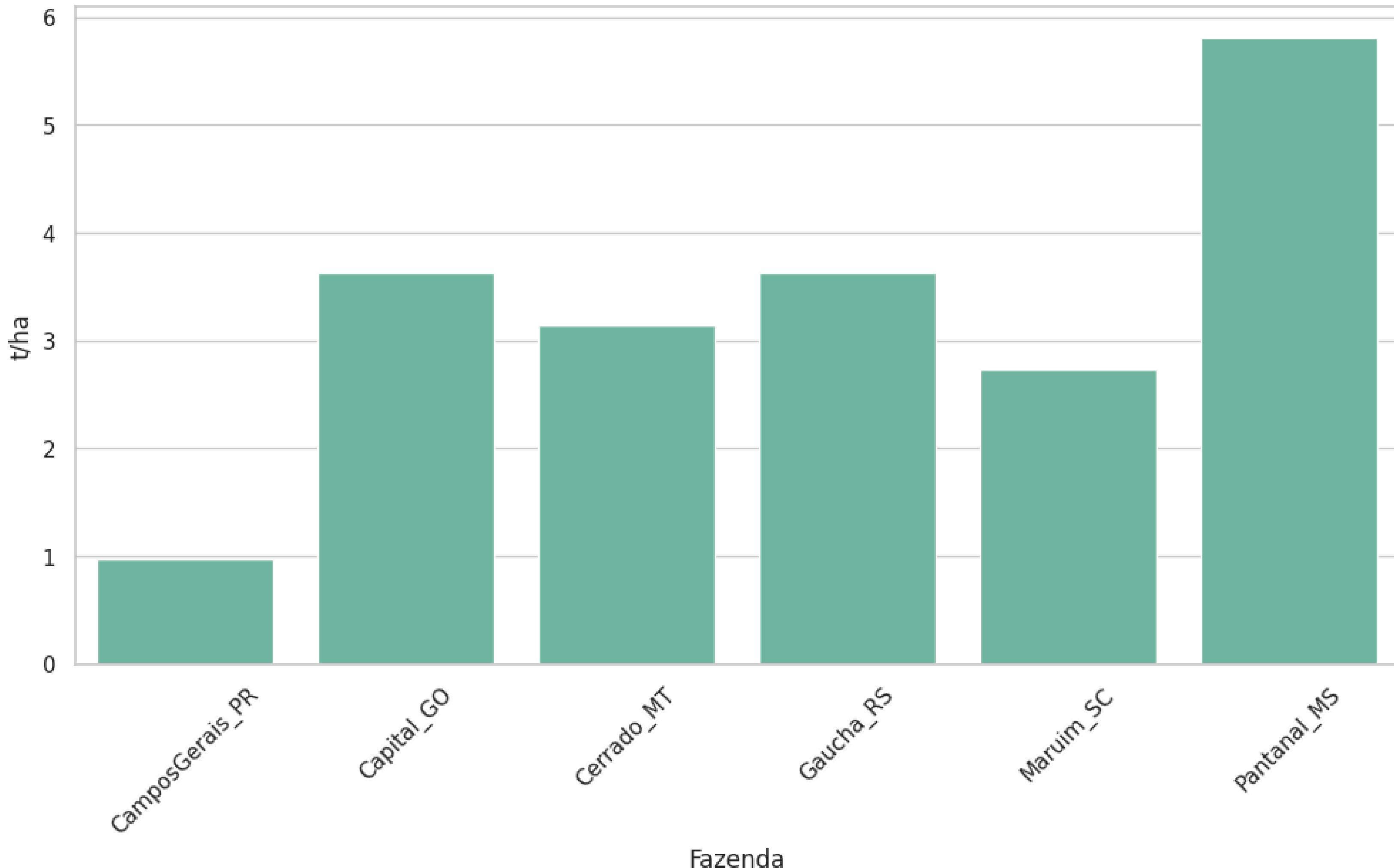
Distribuição da Produtividade por Fazenda (t/ha)



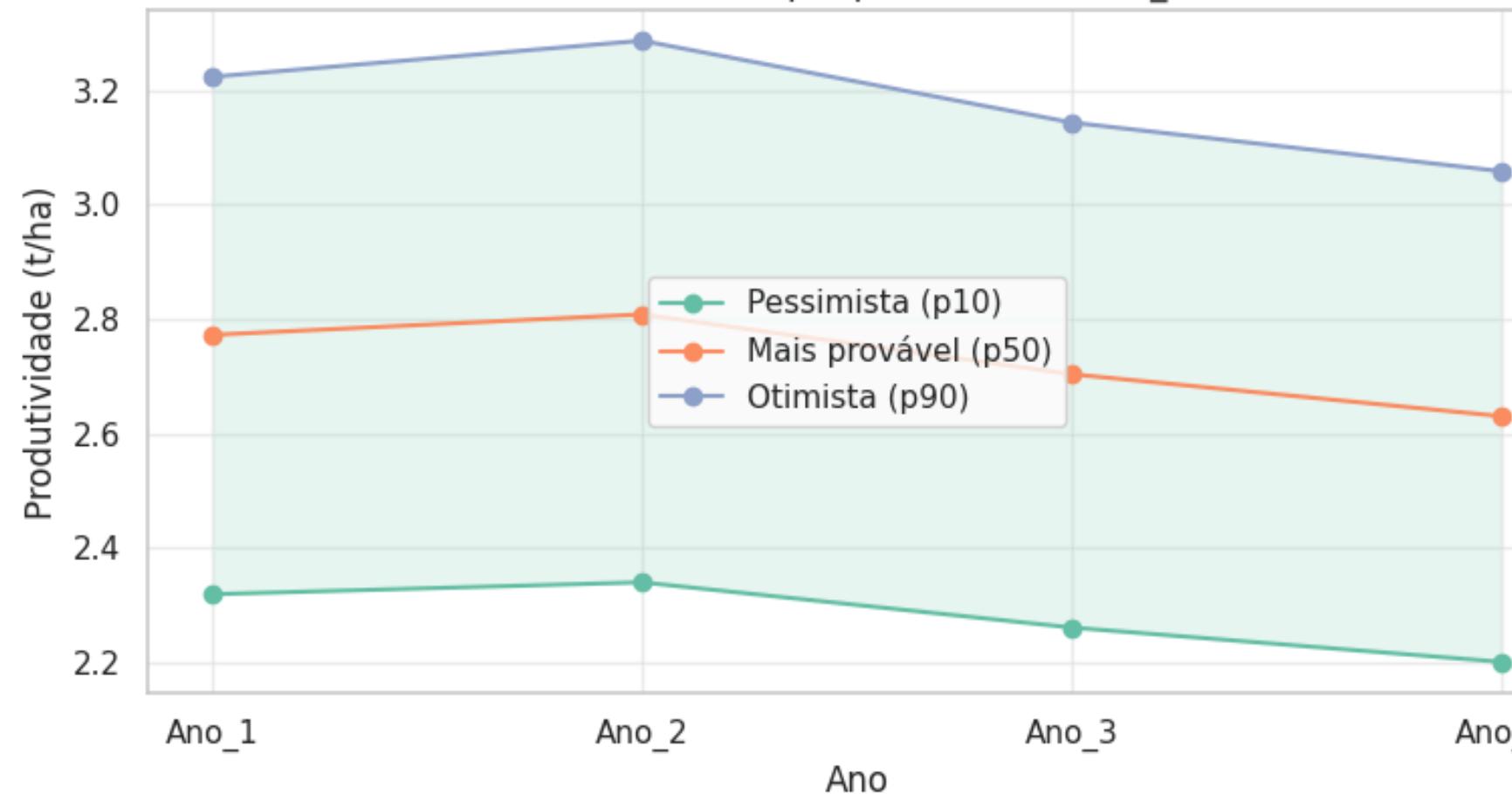
Produtividade de Milho por Fazenda (t/ha)



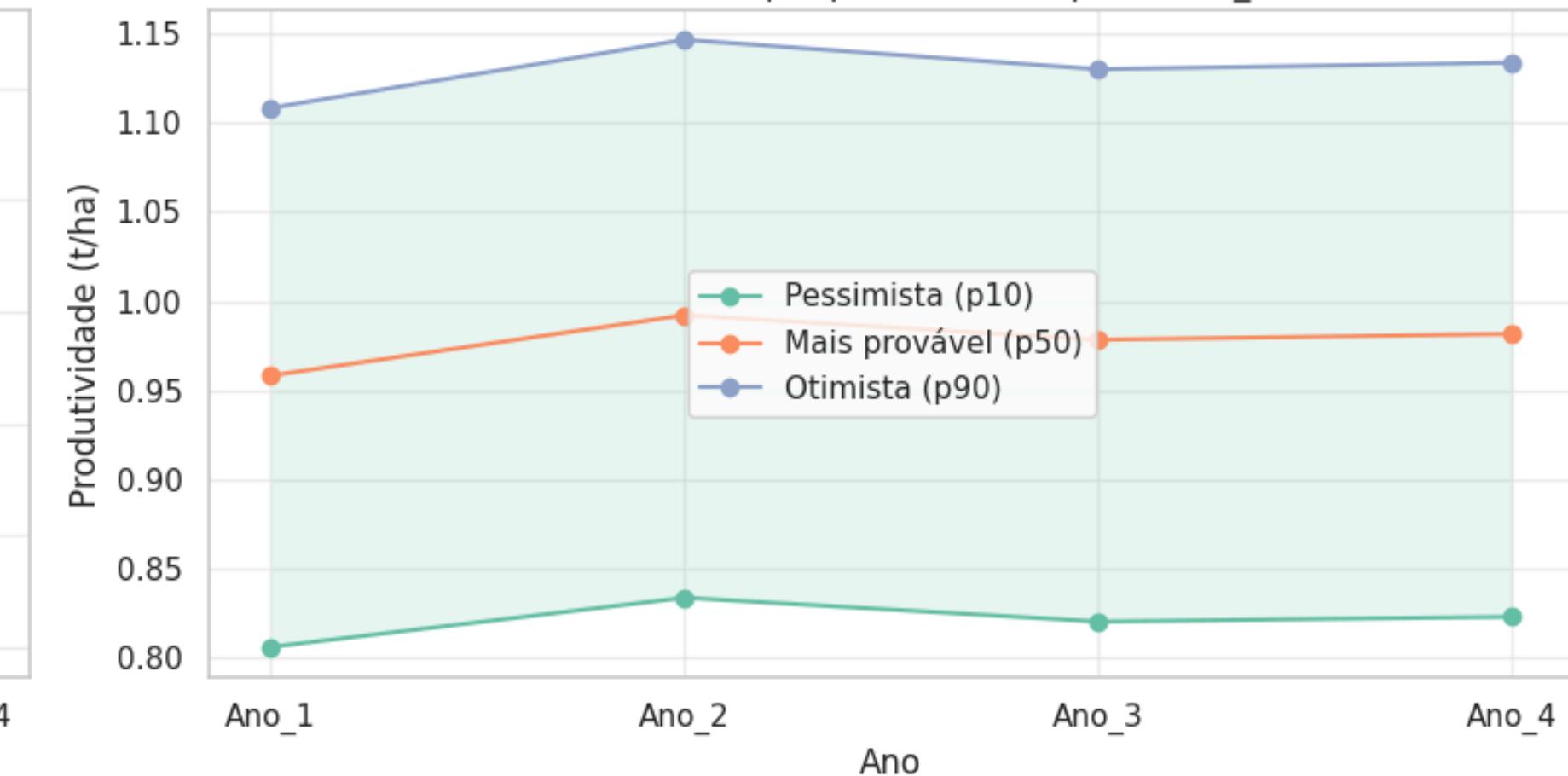
Produtividade Média de Milho (4 anos)



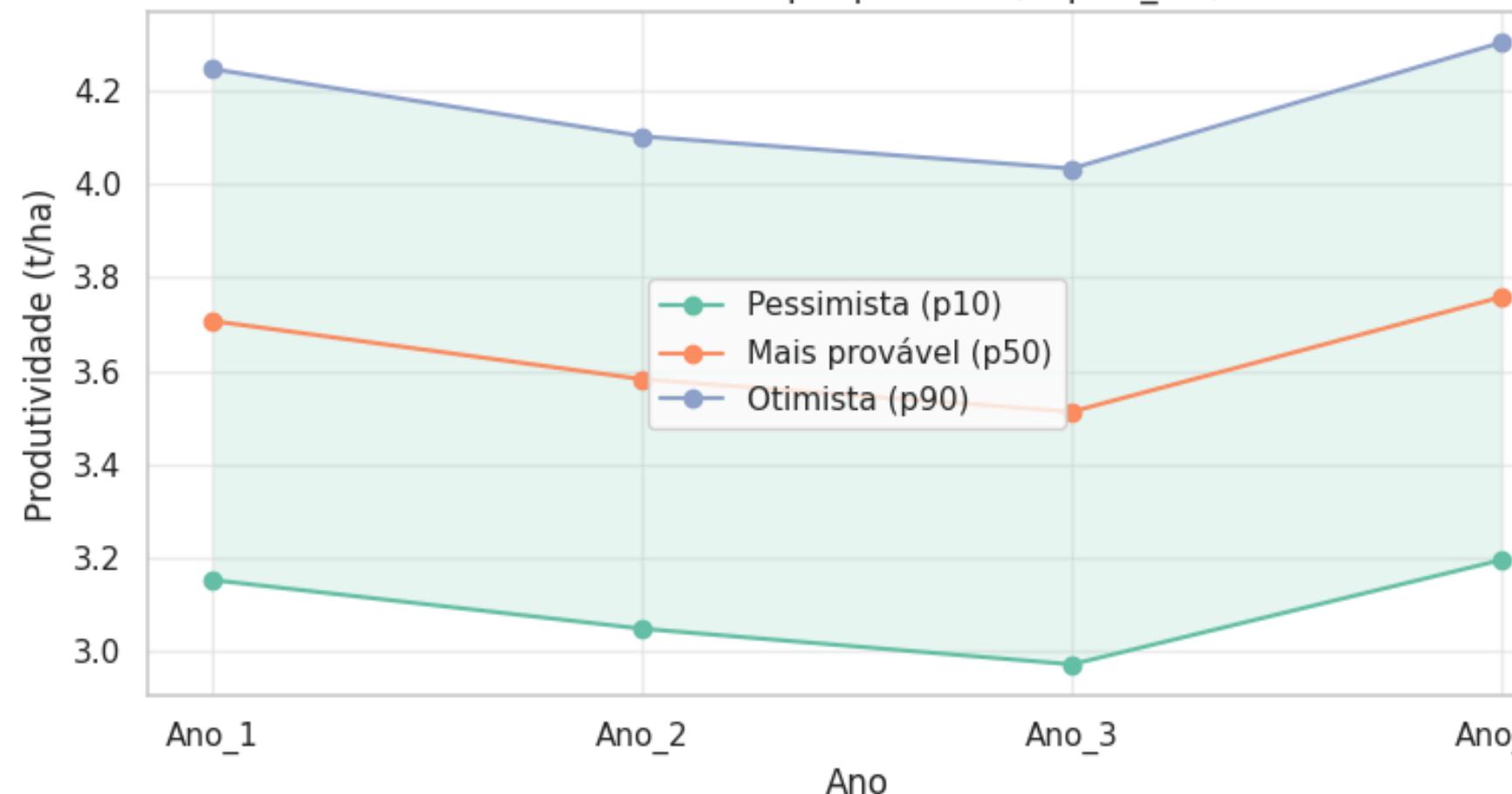
Milho — cenários por percentil (Maruim_SC)



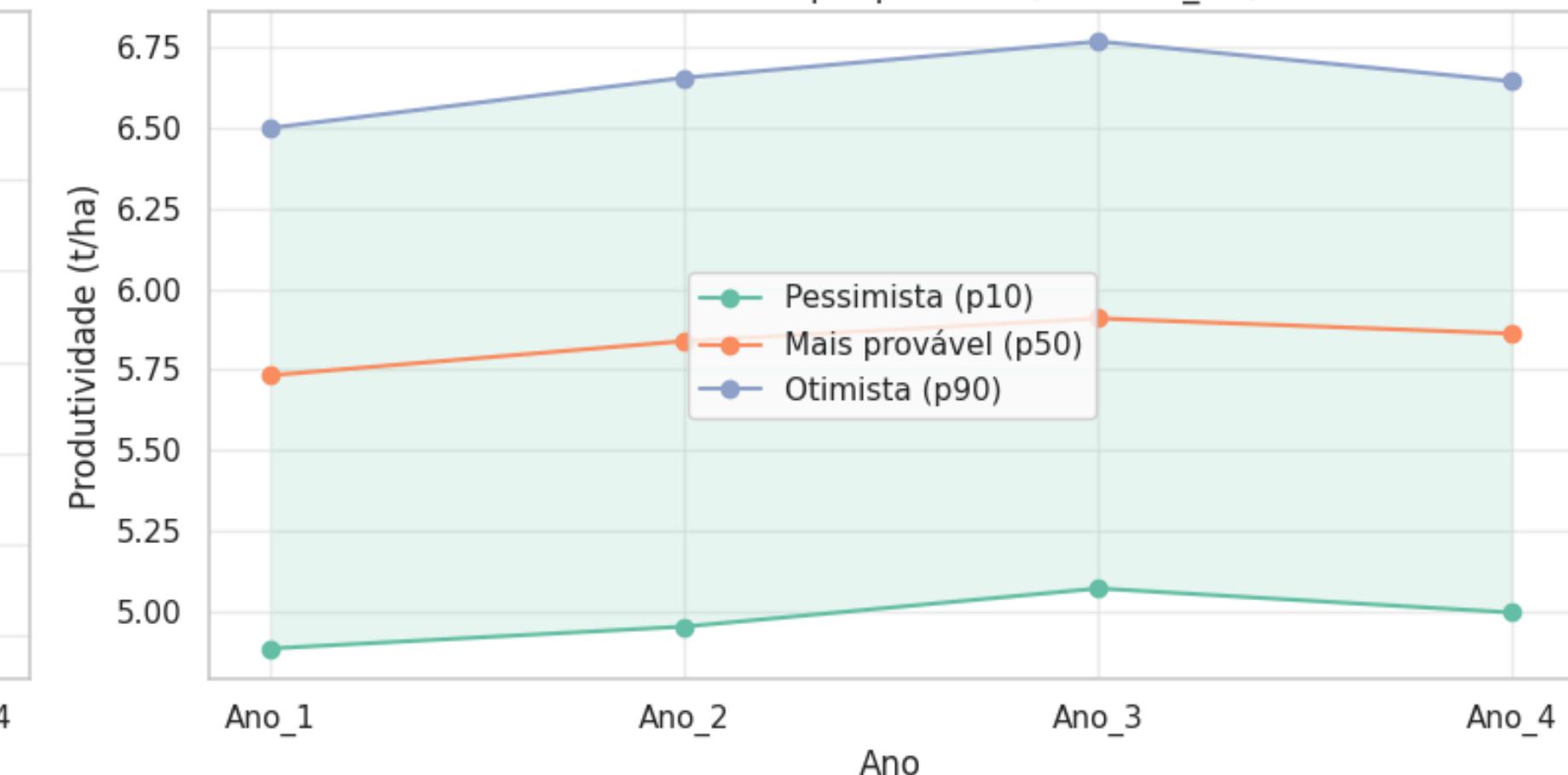
Milho — cenários por percentil (CamposGerais_PR)



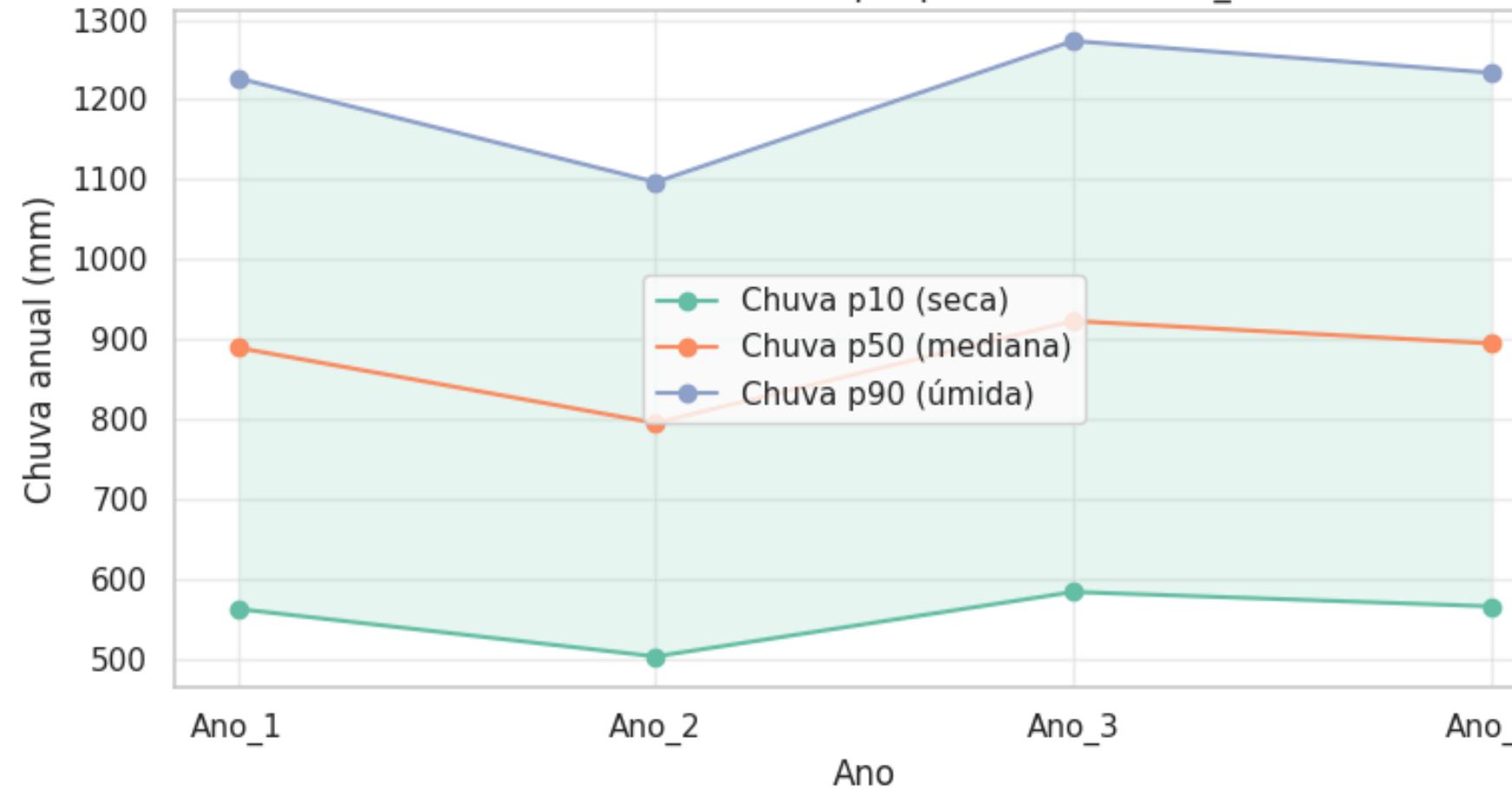
Milho — cenários por percentil (Capital_GO)



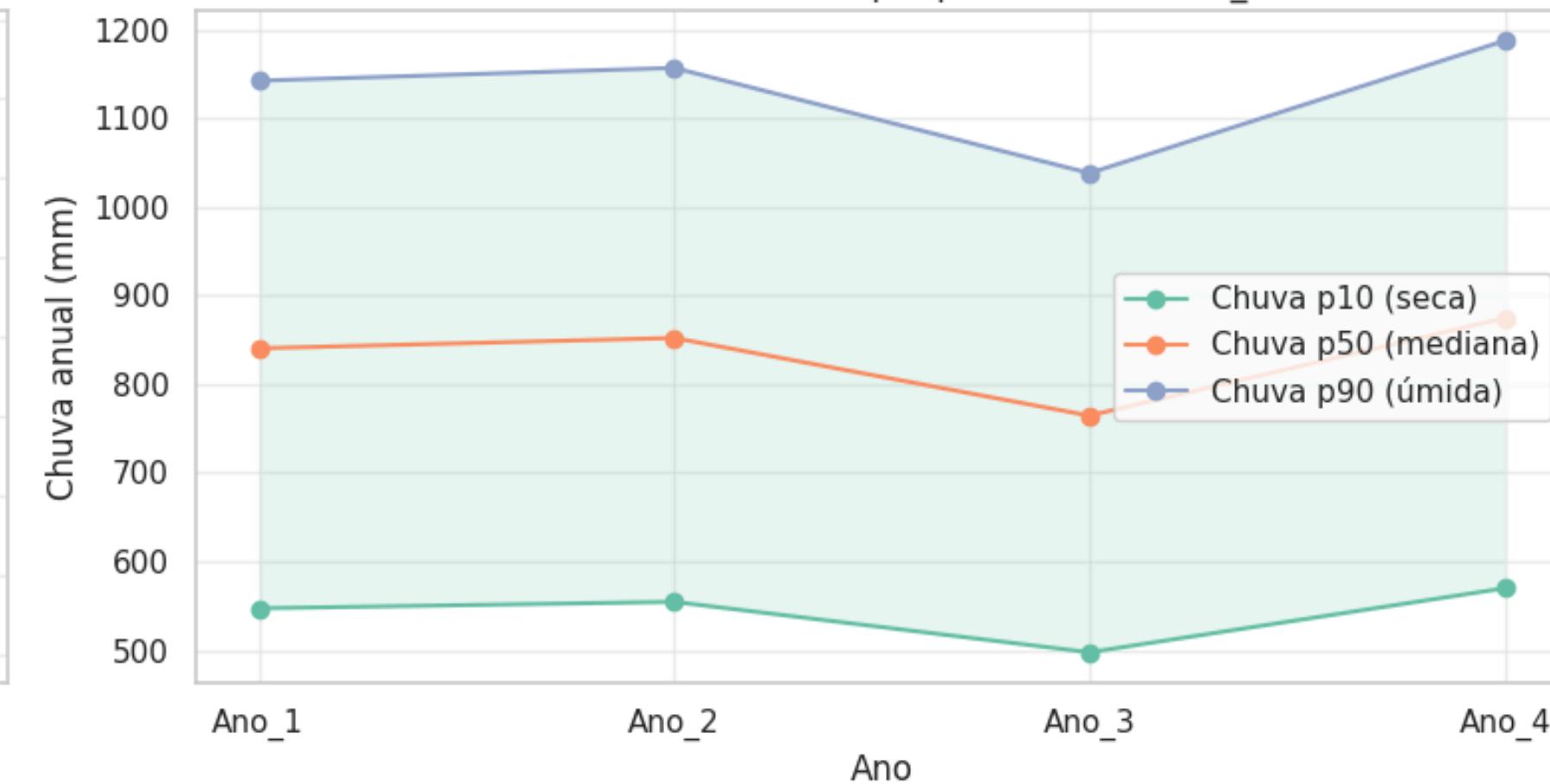
Milho — cenários por percentil (Pantanal_MS)



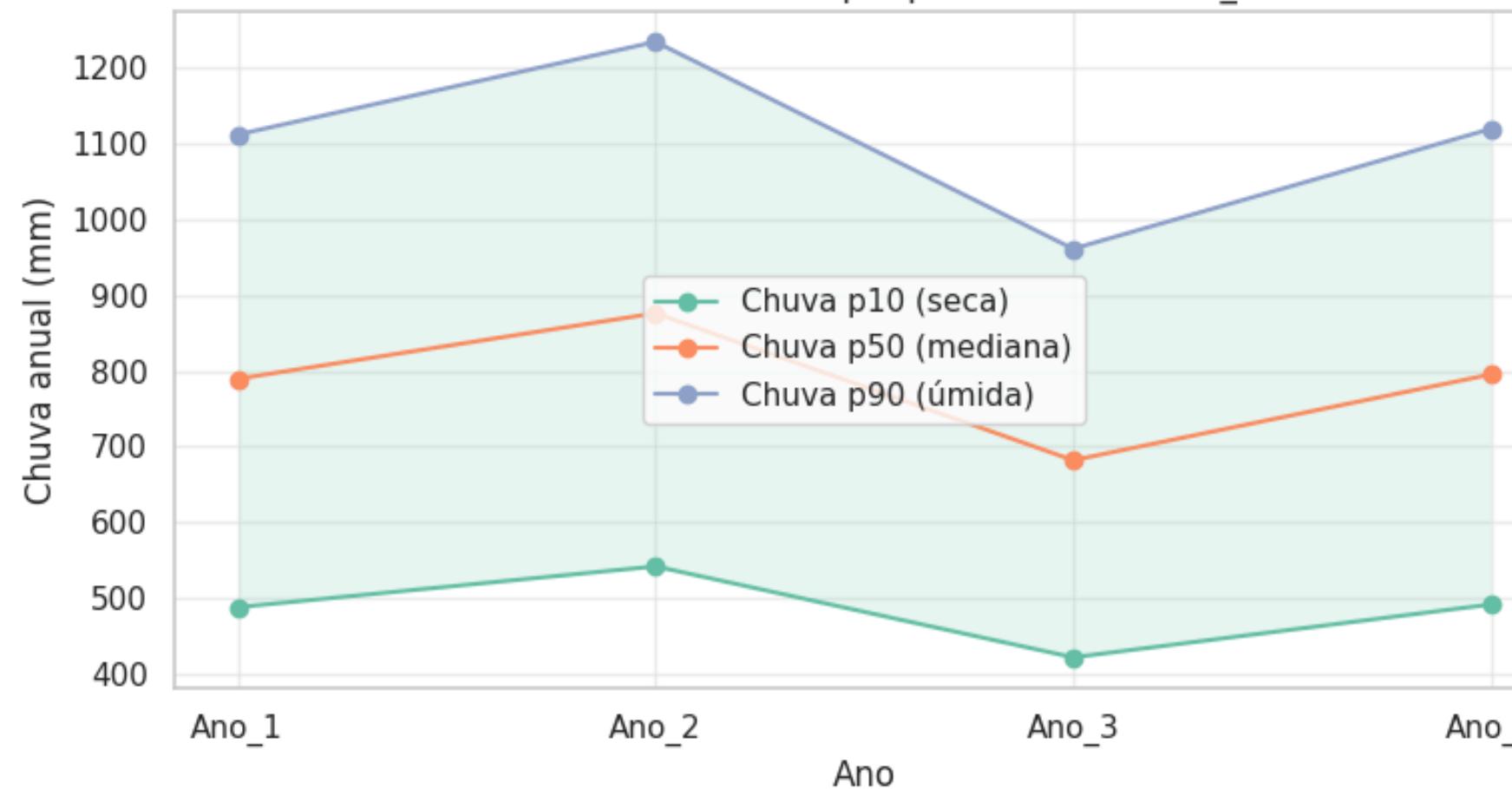
Chuva anual — cenários por percentil (Maruim_SC)



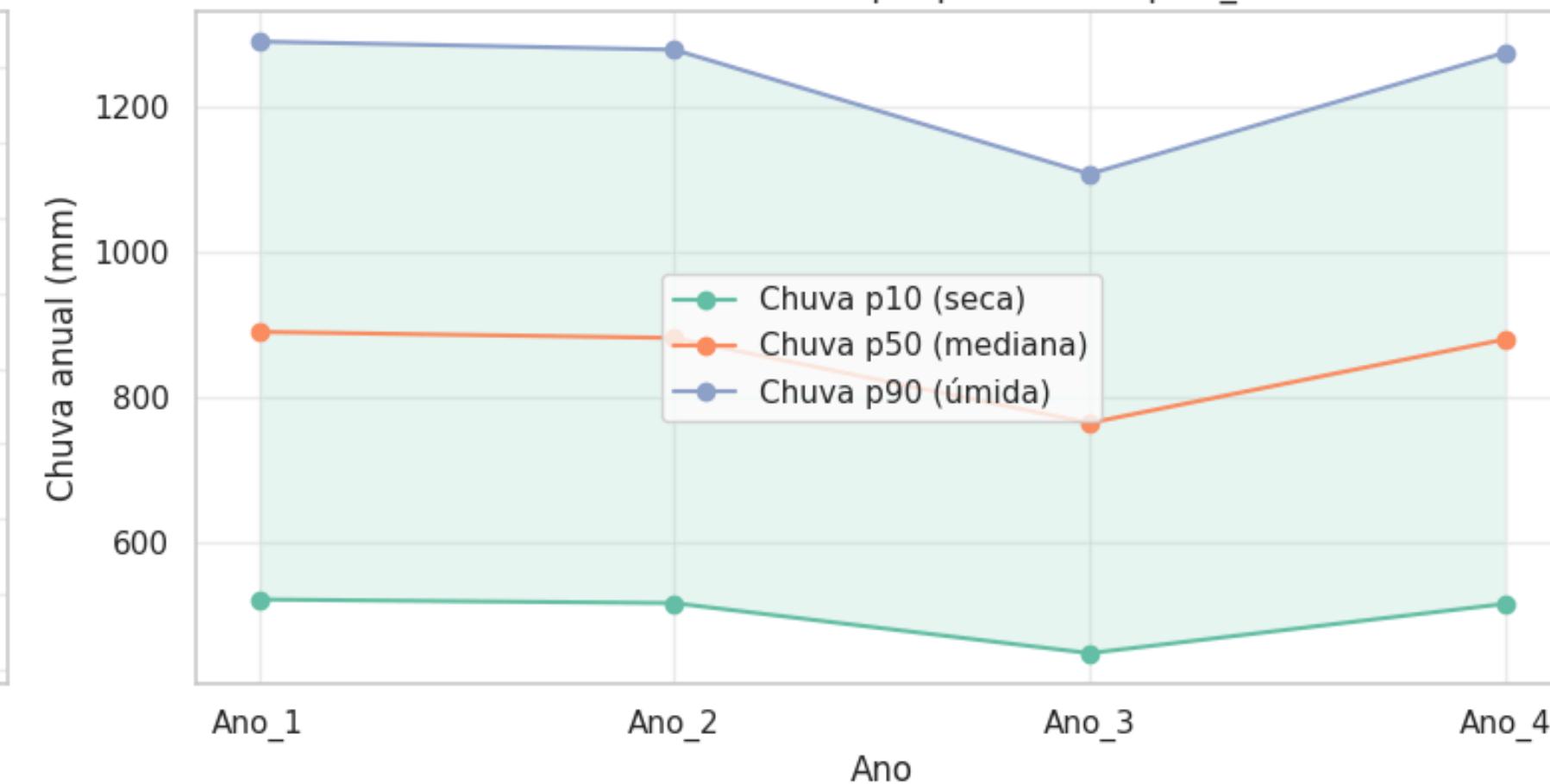
Chuva anual — cenários por percentil (Gaucha_RS)



Chuva anual — cenários por percentil (Pantanal_MS)



Chuva anual — cenários por percentil (Capital_GO)



Referências



Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística



Dados Reaproveitados da N2

Referências

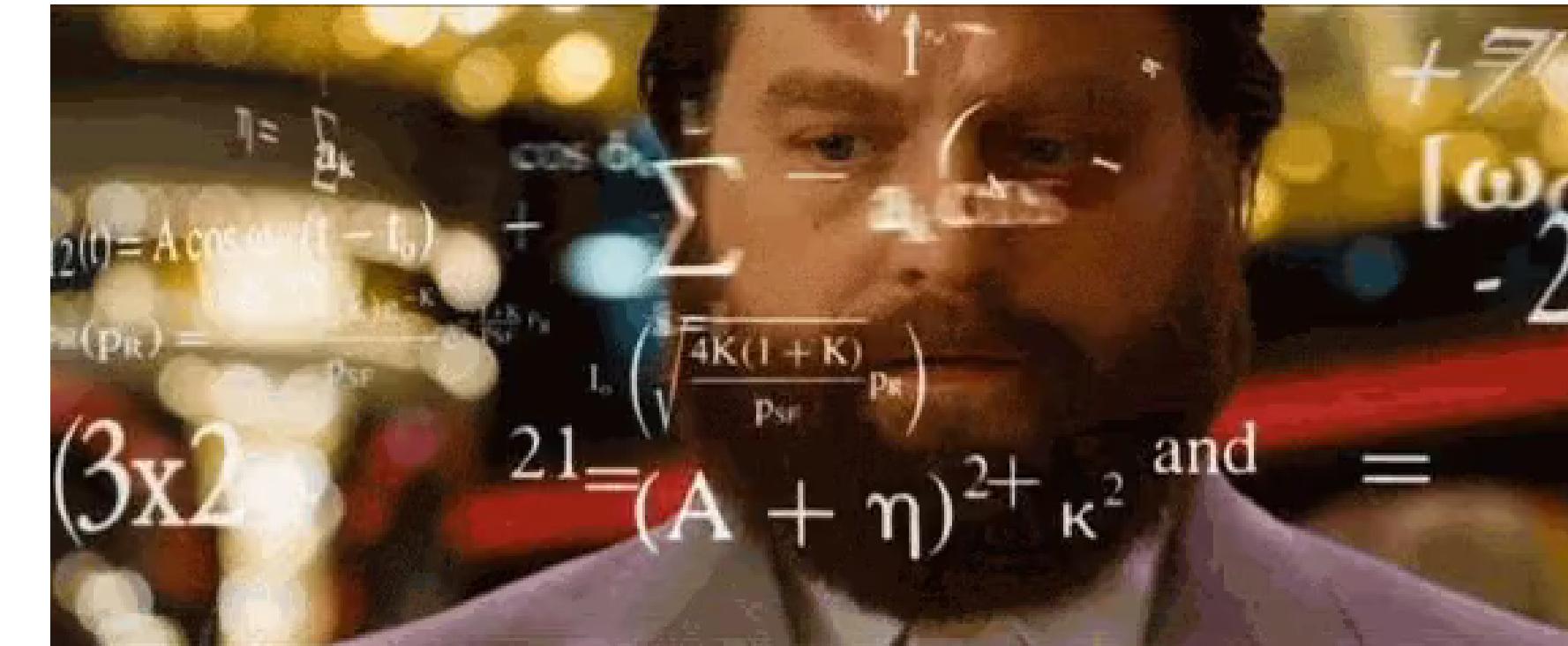


Bônus: N2 + N3 = N5



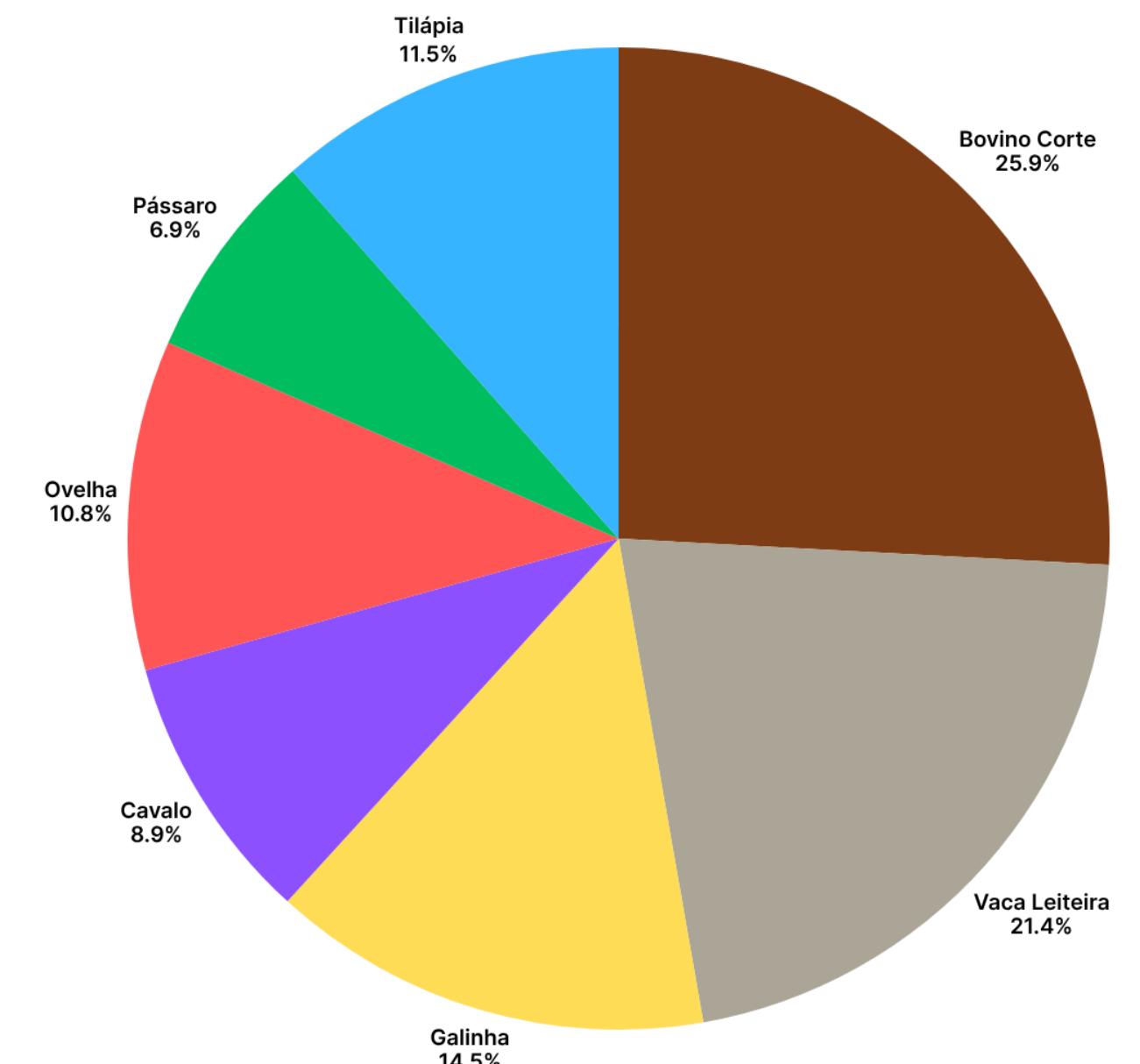
$$\max \sum_{l,p} \text{price}_{l,p} q_{l,p} + \sum_i \text{sell}_i \text{sellQty}_i - \sum_{f,g} (C_g^{\text{sem}} + C_g^{\text{man}}) x_{f,g} - \sum_{f,g,k} (2D_f c_k^{\text{km}} + c_k^{\text{fix}}) y_{f,g,k} - \sum_i \text{buy}_i \text{buyQty}_i - \sum_{l,p} (c_{l,p}^{\text{proc}} w_{l,p} + c_{l,p}^{\text{pack}}) q_{l,p}$$

Modelo estruturado, resolvendo...

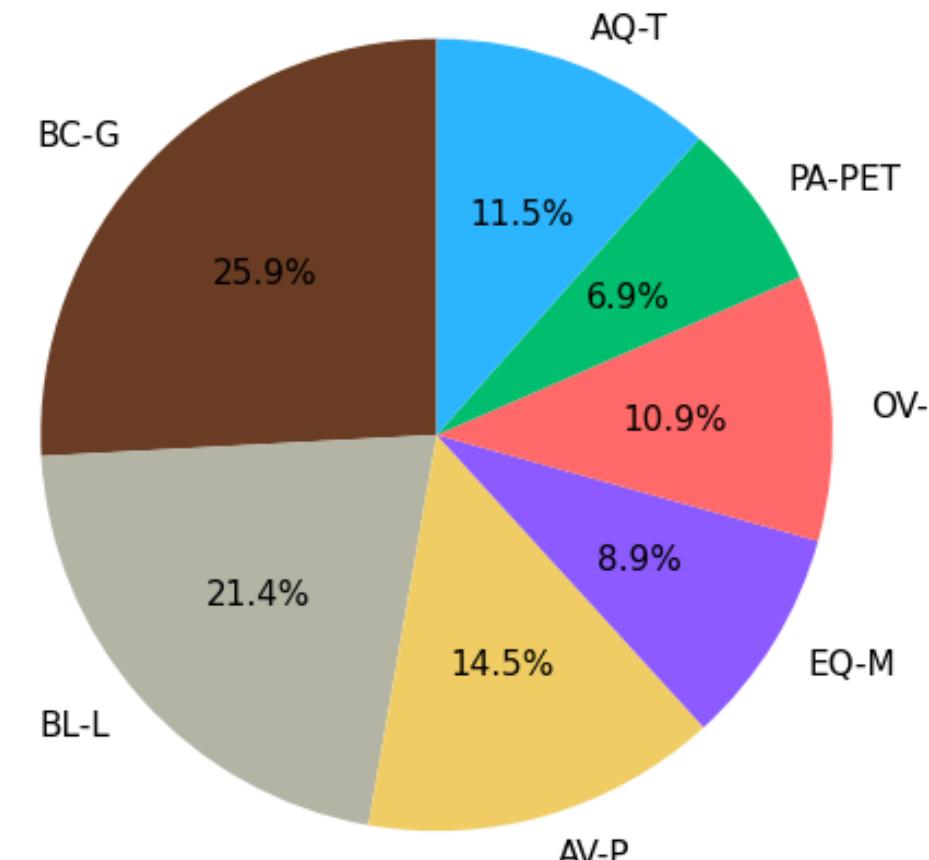


Faturamento por tipo de ração — Ano 1

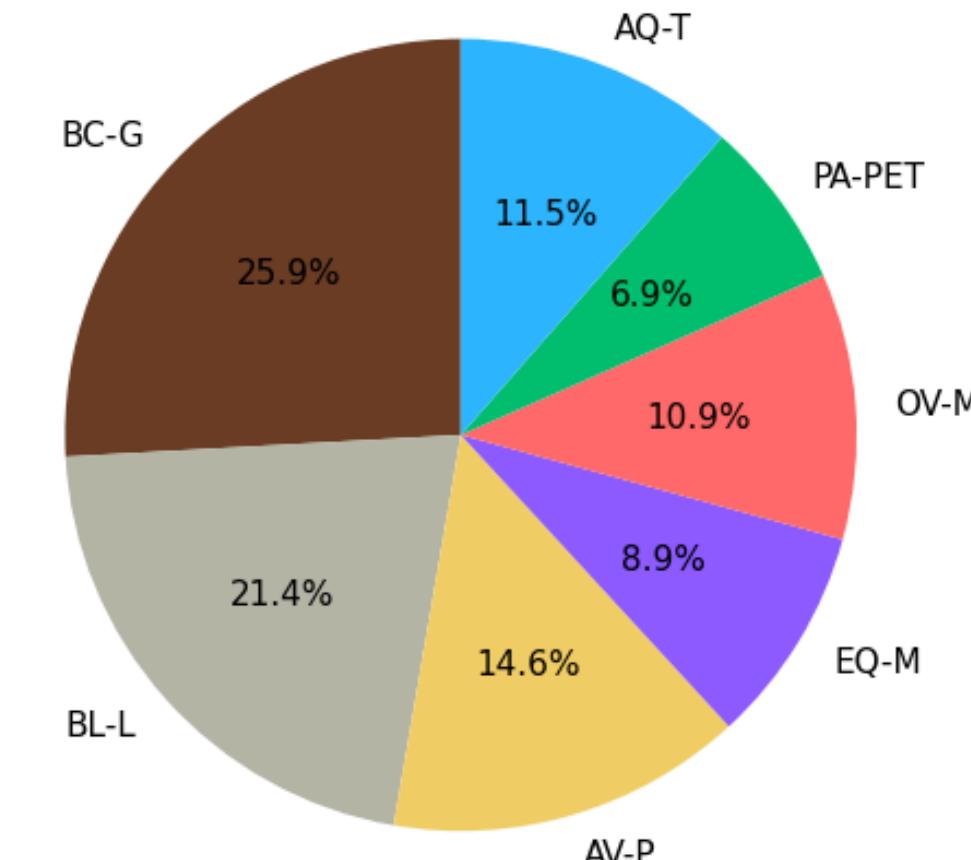
N2



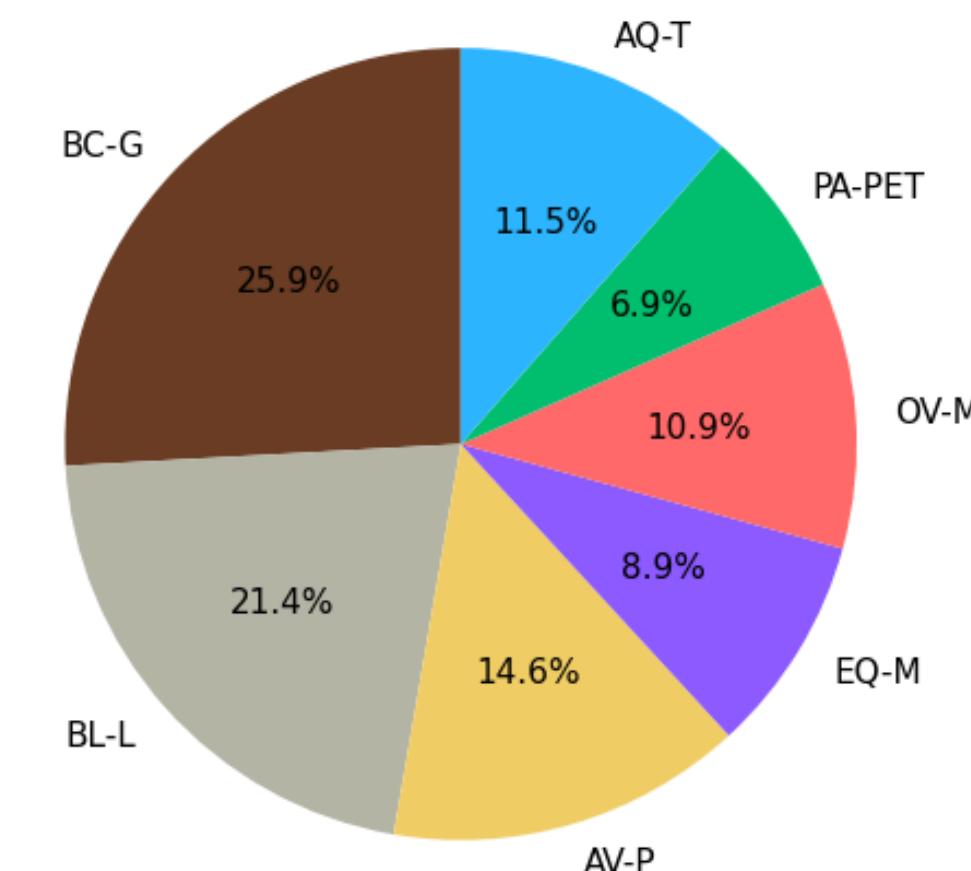
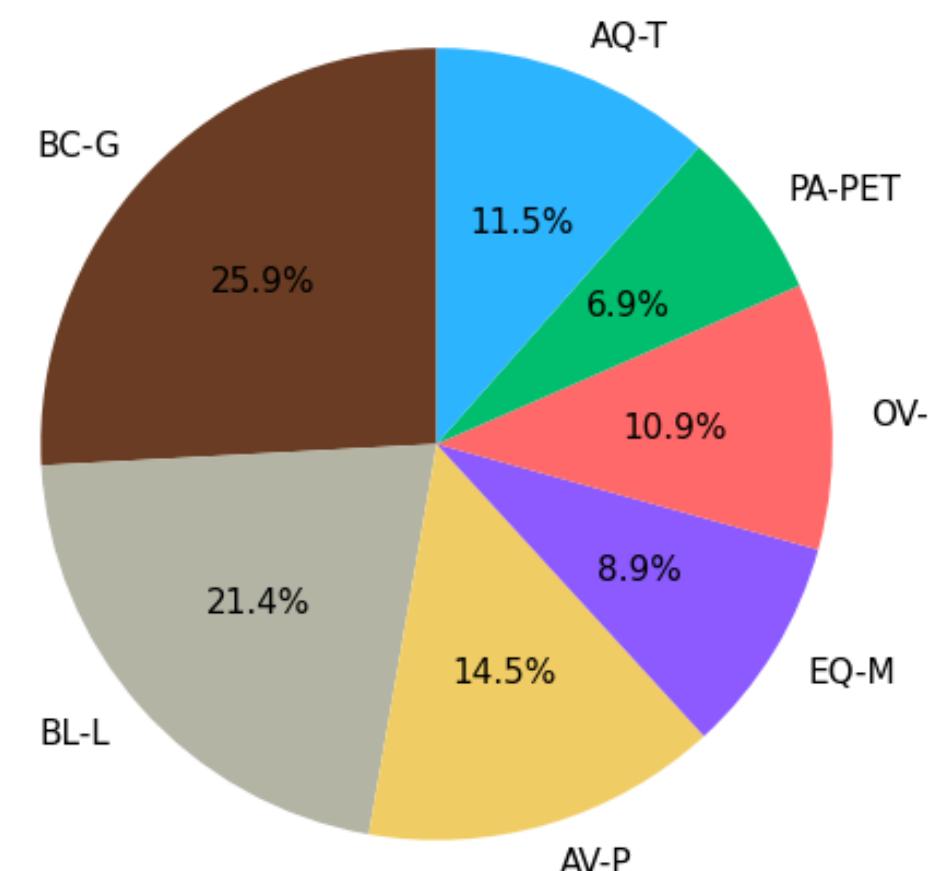
Faturamento por tipo de ração — Ano 3



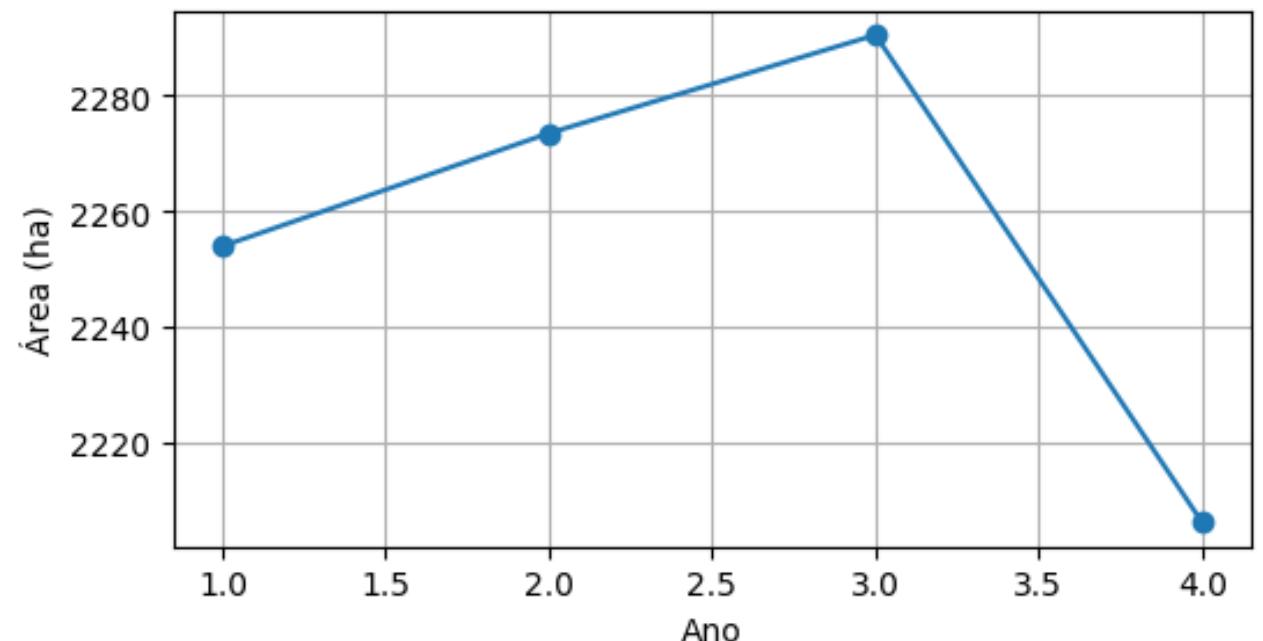
Faturamento por tipo de ração — Ano 2



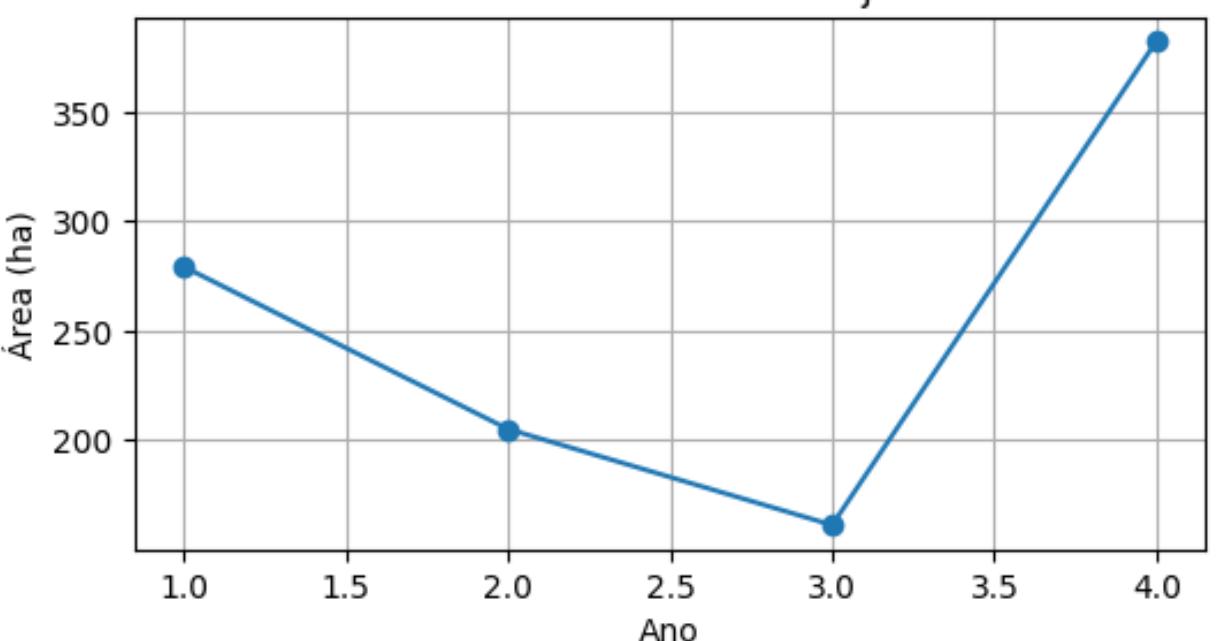
Faturamento por tipo de ração — Ano 4



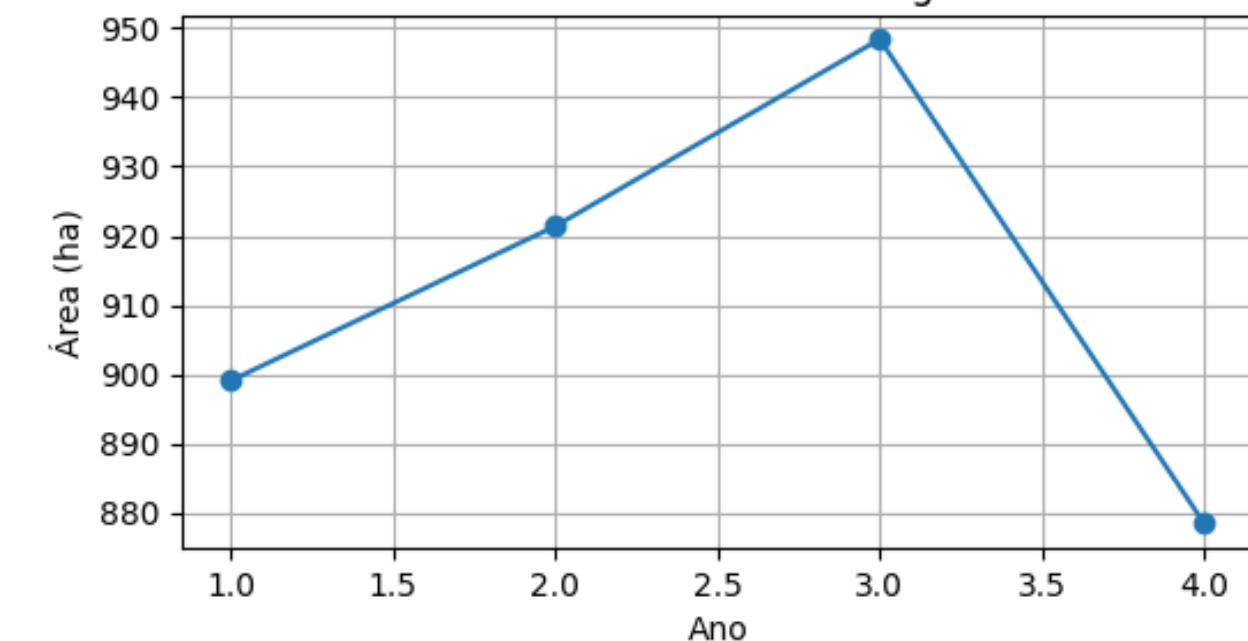
Área ótima total — Milho



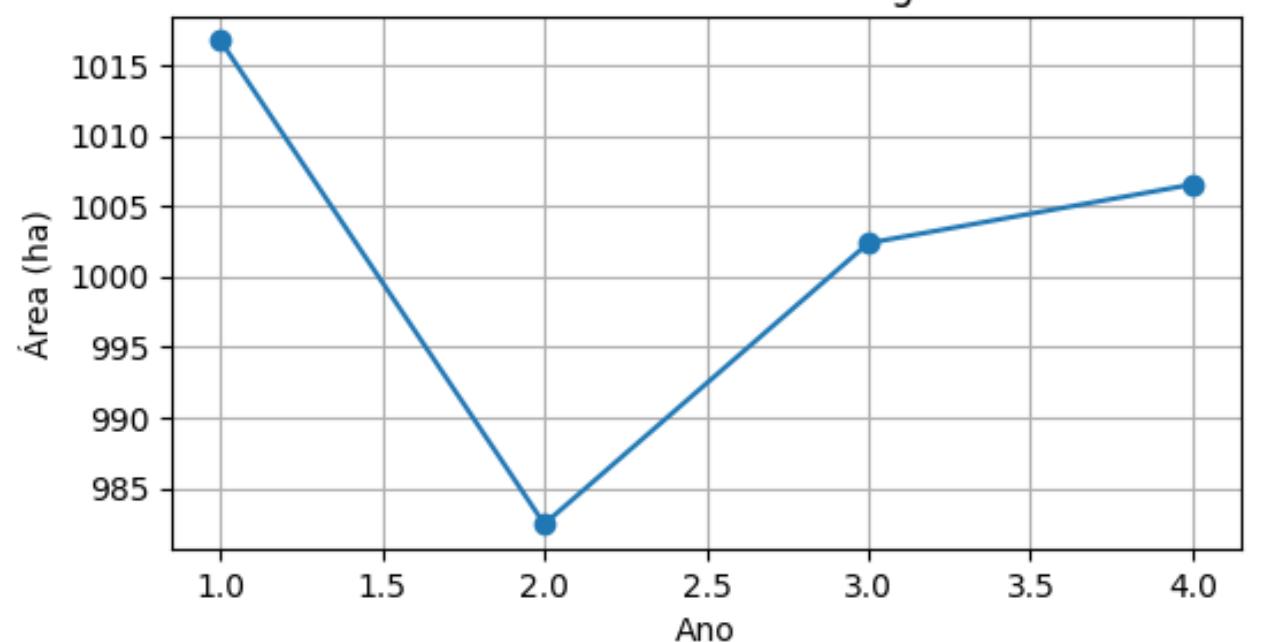
Área ótima total — Soja



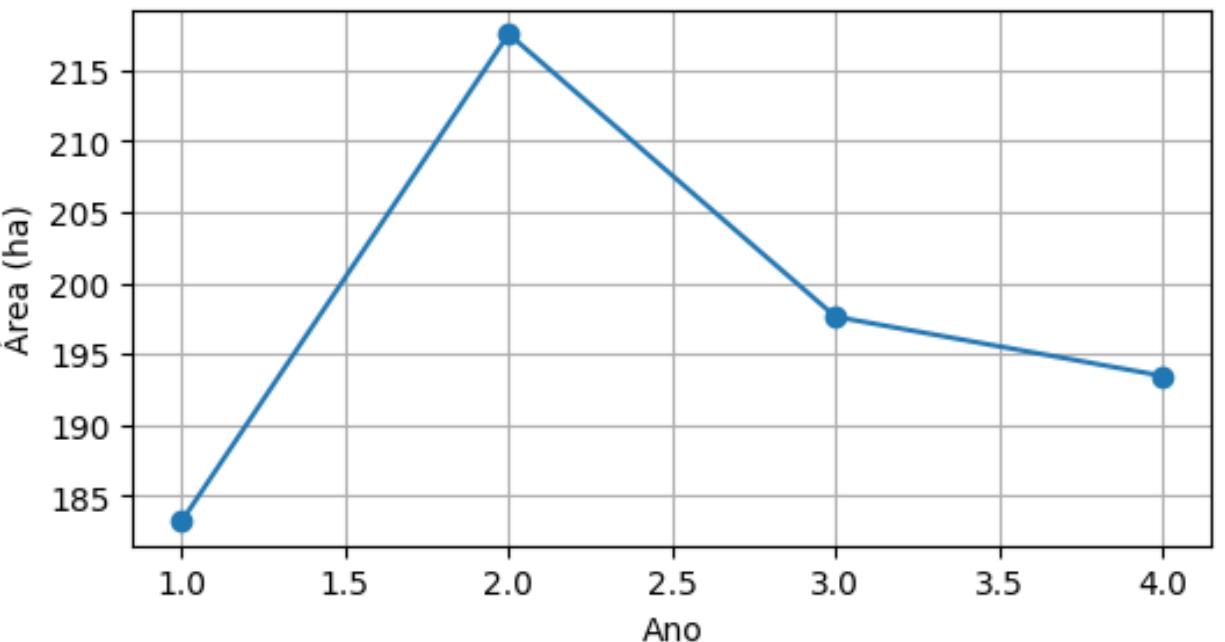
Área ótima total — Sorgo



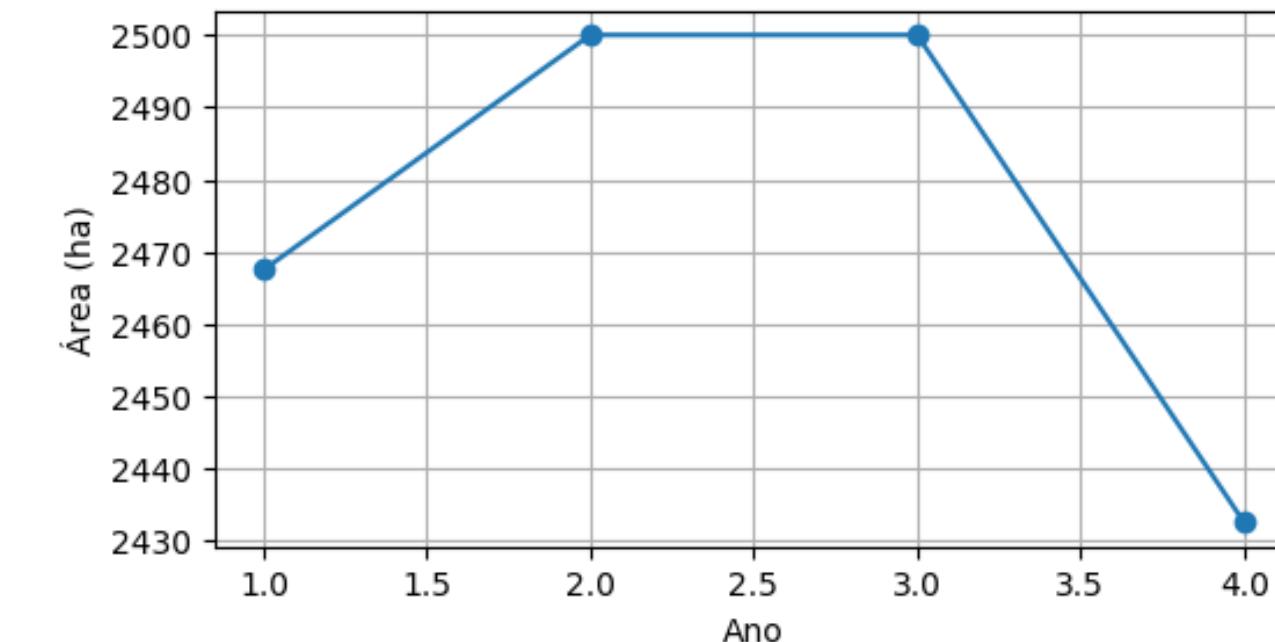
Área ótima total — Trigo

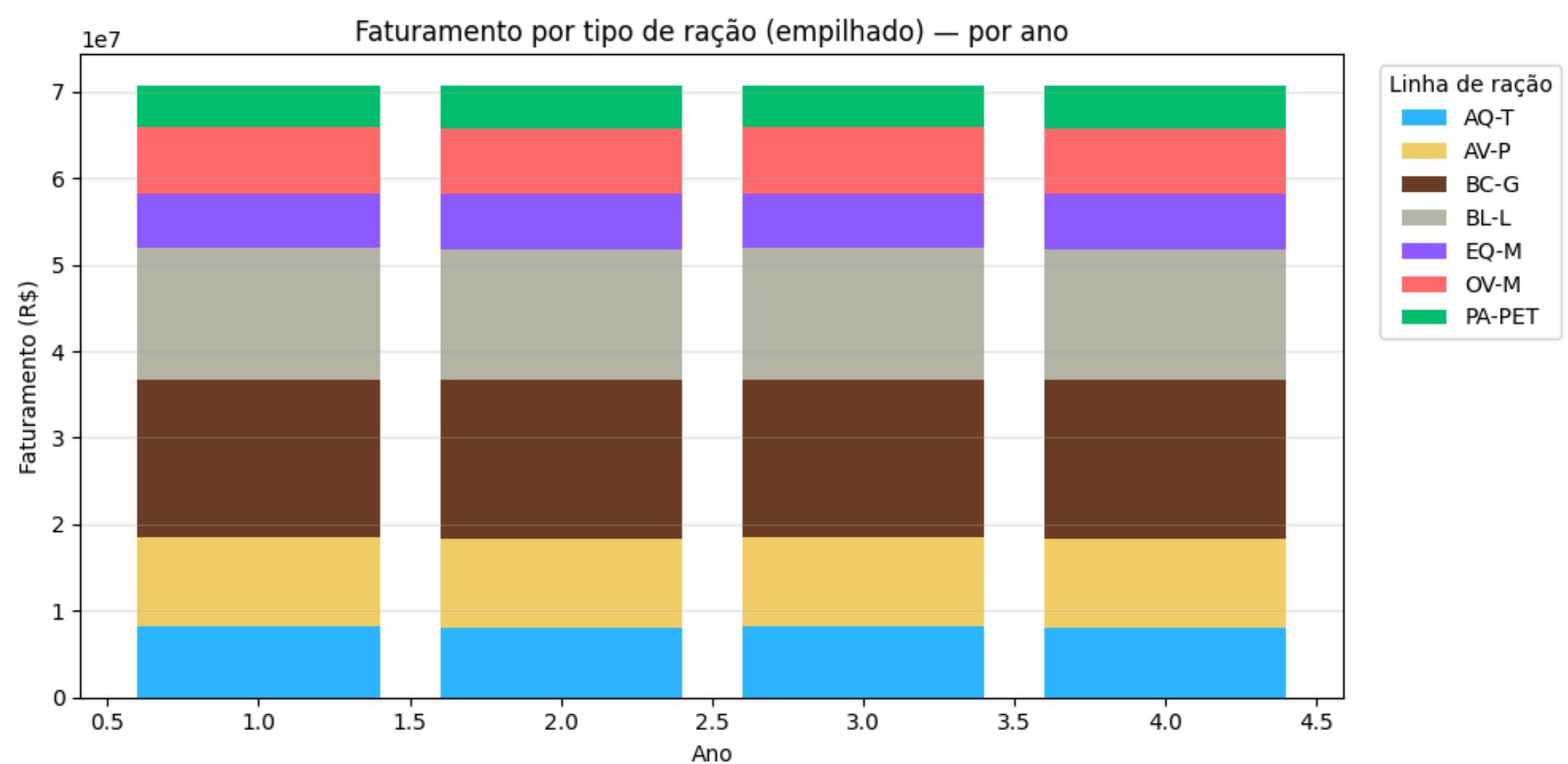
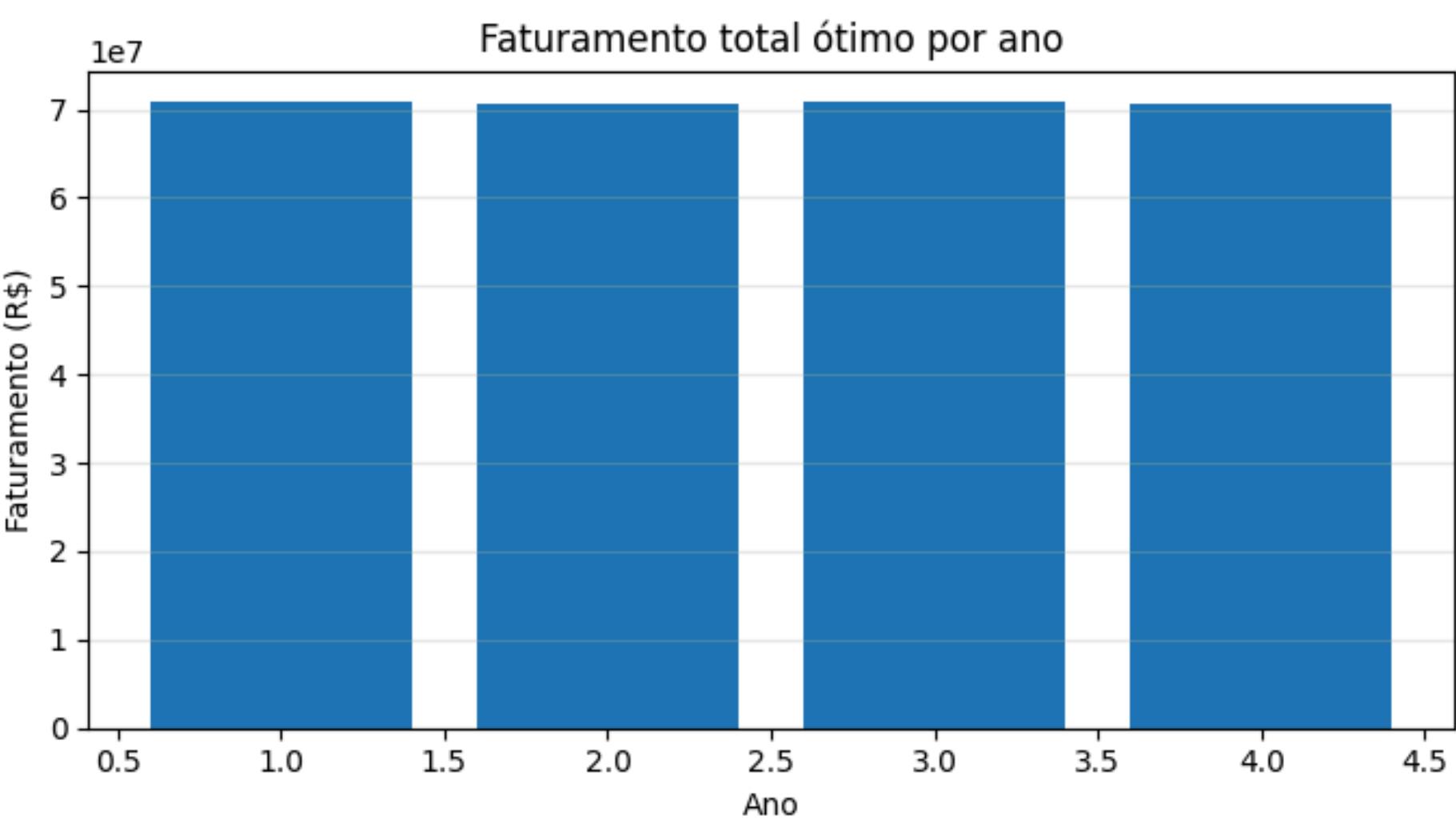


Área ótima total — Aveia

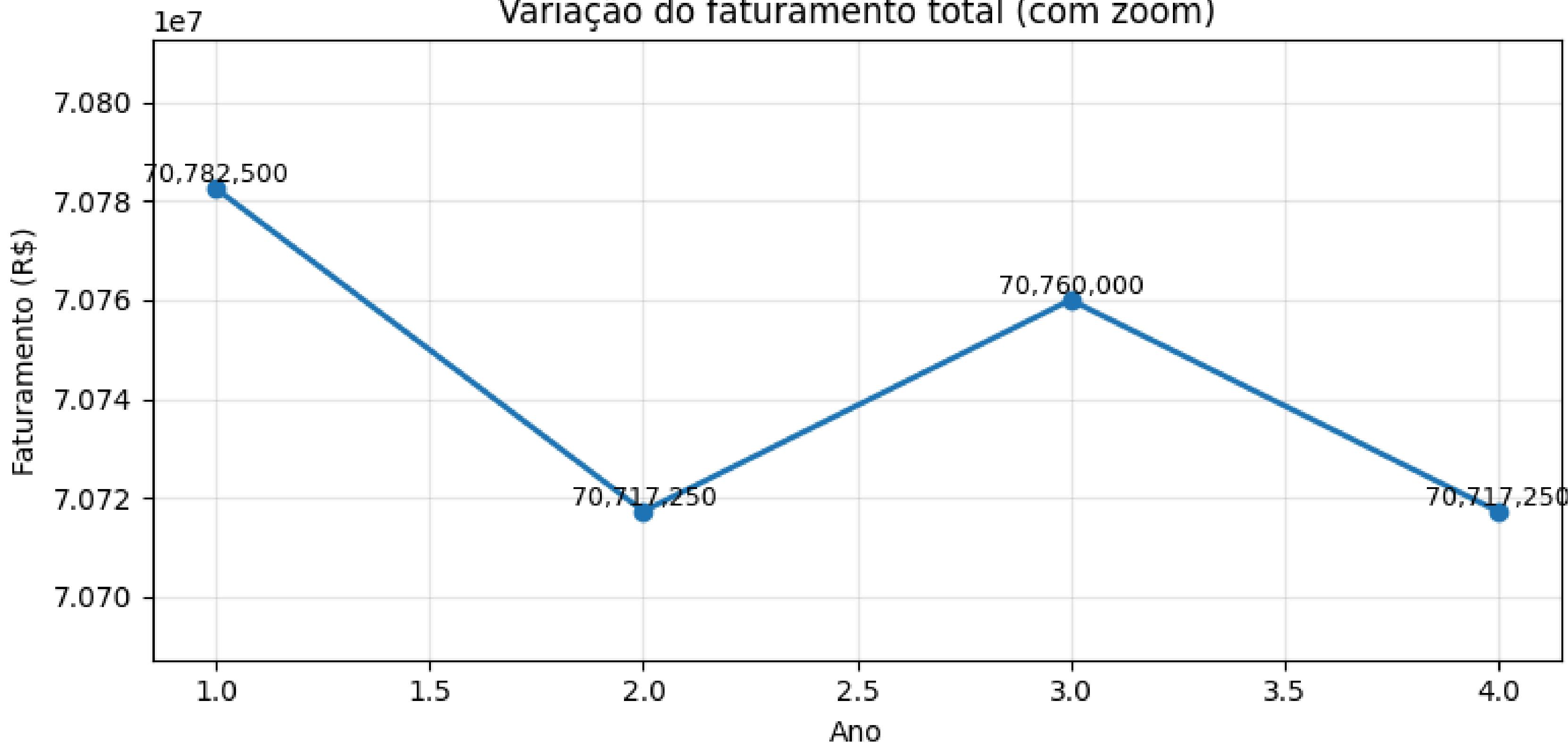


Área ótima total — Girassol





Variação do faturamento total (com zoom)



Simulação evacuação do Público nas Finais da Copa do Mundo



WORLD CUP WILLIE
ENGLAND 1966




JUANITO
MEXICO 1970 

Diretrizes da Fifa para o Estádio sediар a final da Copa do Mundo

1. Infraestrutura e Design
2. Segurança e Evacuação
3. Mídia e Transmissão
4. Hospitalidade e VIP

1. Infraestrutura e Design

- Capacidade Mínima: O estádio que sediar a Final deve ter uma capacidade mínima de assentos líquidos (livre de visão obstruída) de aproximadamente 80.000 espectadores.
- Assentos Individuais: Todos os assentos devem ser individuais, fixos e numerados.
- Iluminação de Campo: Sistemas de iluminação de alta qualidade que atendam aos padrões de transmissão 4K/HDR (High Dynamic Range), garantindo uniformidade e brilho para câmeras de alta velocidade.

2. Segurança e Evacuação

- Controle de Acesso: Implementação de sistemas de controle de acesso eletrônico (catracas e leitores de ingresso) de alta velocidade para gerenciar o fluxo de entrada.
- **Tempo de Evacuação:** O estádio deve ser projetado para permitir a evacuação completa dos espectadores em um tempo **máximo de 8 a 10 minutos** (Padrão Internacional), como discutido em nossa simulação.

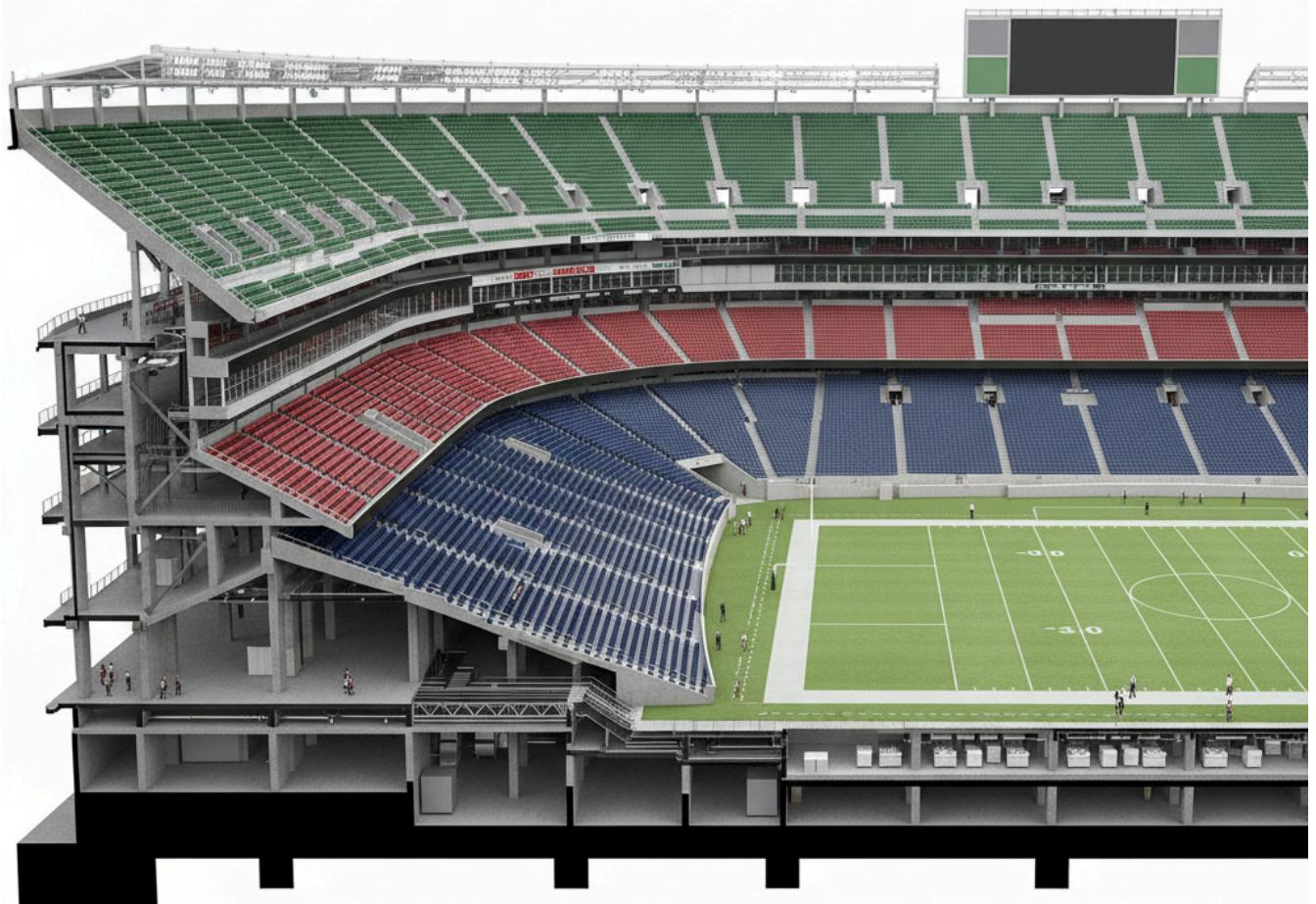
2. Segurança e Evacuação

- CCTV e Vigilância: Instalação de um sistema abrangente de Circuito Fechado de Televisão (CCTV) com cobertura total (incluindo reconhecimento facial ou tecnologia equivalente) e um Centro de Comando de Segurança integrado.
- Rotas Claras: Rotas de emergência desimpedidas e sinalização de emergência que atenda aos mais altos padrões internacionais, incluindo iluminação de emergência e sistemas de megafone.

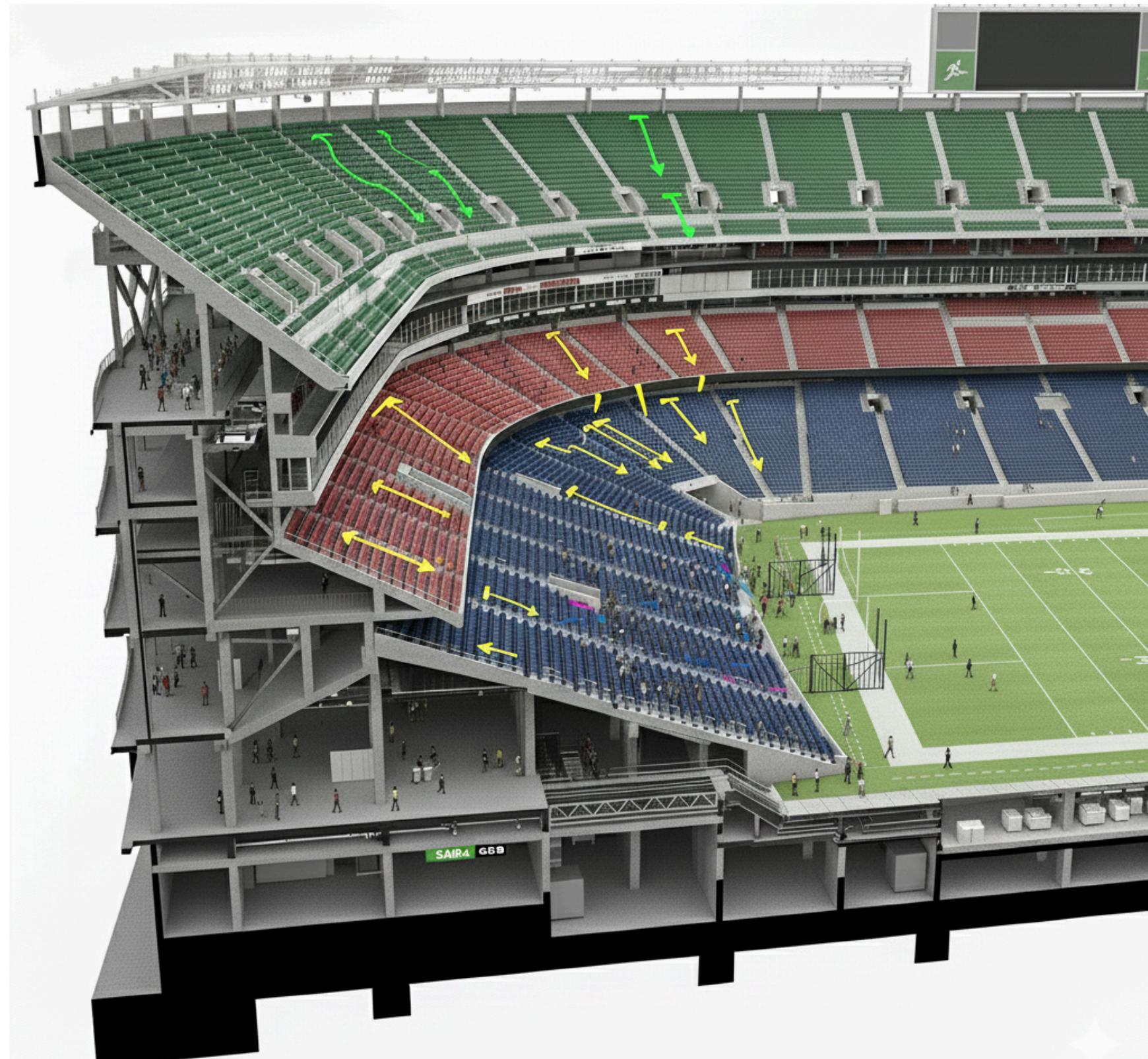


2. Segurança e Evacuação

- Zoneamento: Criação de perímetros de segurança de três anéis (interno, médio e externo) para controlar o fluxo de torcedores, VIPs, mídia e staff.



Corte sistema de Evacuação



3. Mídia e Transmissão

- Centro de Mídia (Media Centre): Instalações amplas e equipadas para centenas de jornalistas, fotógrafos e equipes de TV, com conectividade de fibra ótica de alta velocidade e salas de trabalho.
- Espaços para Câmeras: Localização e construção de plataformas de câmeras em posições estratégicas (incluindo a câmera principal, low-angle e sky-cam) para garantir a cobertura ideal de todos os ângulos.
- Sala de Imprensa: Sala de conferências de imprensa com capacidade para acomodar os requisitos de TV e tradução simultânea.

4. Hospitalidade e VIP

- Áreas VIP e Hospitalidade: Um número significativo de camarotes executivos (suítes) e áreas de hospitalidade de alto padrão que oferecem vistas privilegiadas e serviços de catering premium.
- Zonas Exclusivas: Áreas separadas e seguras para a chegada e recepção de Chefes de Estado, Dignitários da FIFA e patrocinadores.
- Acessibilidade (PCD): O estádio deve ser totalmente acessível para Pessoas com Deficiência (PCD), incluindo rampas, elevadores e áreas de assentos dedicadas, de acordo com as diretrizes da FIFA e leis internacionais de acessibilidade.

Estádios das Finais



Estádio Final Copa 1994

País sede: Estados Unidos

Estado: California

Cidade: Pasadena

Estádio: Rose Bowl

Capacidade: 91.794



Estádios das Finais



Estádio Final Copa 2002

País sede: Japão e Coreia do Sul

Estado: Kanagawa

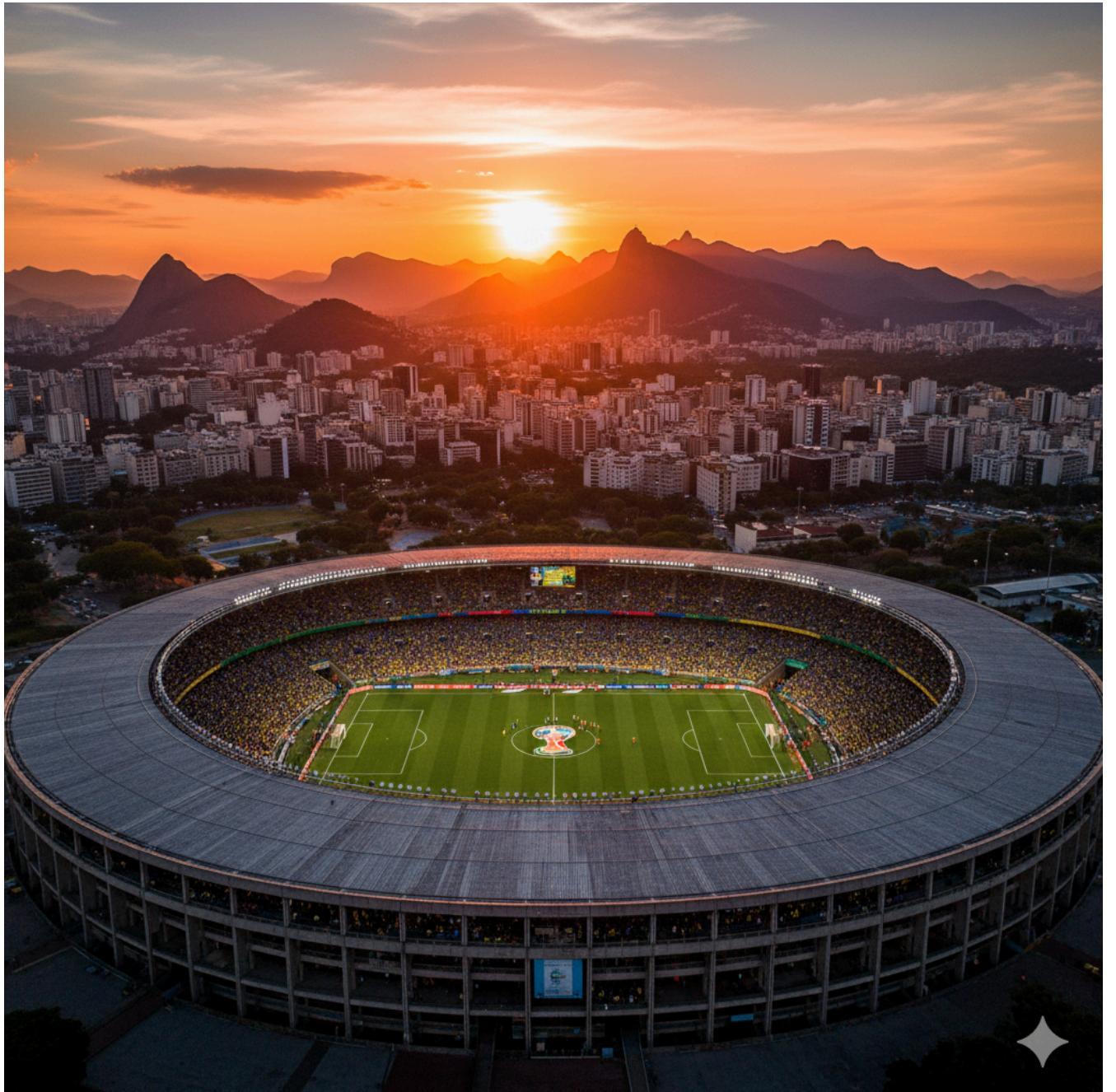
Cidade: Yokohama

Estádio: Internacional de Yokohama

Capacidade: 72 327



Estádios das Finais



Estádio Final Copa 2014

País sede: Brasil

Estado: Rio de Janeiro

Cidade: Rio de Janeiro

Estádio: Jornalista Mário Filho
(Maracanã)

Capacidade: 78 838



Modelagem Baseada em Agentes (ABS)

A Modelagem Baseada em Agentes (ABS) ou Simulação Baseada em Agentes (ABMS) é uma técnica avançada de Pesquisa Operacional (PO) que adota uma abordagem de baixo para cima (bottom-up). O foco é nas entidades individuais (Agentes), em suas regras de comportamento, e em como suas interações geram o comportamento emergente de todo o sistema.

O Conceito Central na Modelagem Baseada em Agentes:

Característica do Agente	Descrição	Exemplo
Autonomia	O agente é capaz de tomar as suas próprias decisões com base em seus objetivos e nas informações que recebe.	Uma pessoa no show decide qual saída seguir, ignorando uma instrução menos óvia.
Comportamento	O agente segue um conjunto de regras predefinidas ou adaptáveis.	A regra é: "Se a densidade ao redor for alta (sufoco), corra. Se for baixa, caminhe."
Interação	O agente se comunica e é influenciado tanto por outros agentes (interação agente-agente) quanto pelo ambiente (interação agente-ambiente).	A pessoa é empurrada por outro agente ou segue o movimento da maioria à sua frente.
Memória/Estado	O agente pode lembrar de eventos passados e mudar seu estado interno, o que afeta seu comportamento futuro.	O agente muda de estado de "Calm" para "Pânico" após presenciar alguém cair.

Estádio da Final 2026



Estádio Final Copa 2026

País sede: Canadá, México, Estados Unidos

Estado: Nova Jersey

Cidade: East Rutherford

Estádio: New York New Jersey

Stadium (MetLife Stadium)

Capacidade: 82 500 espectadores





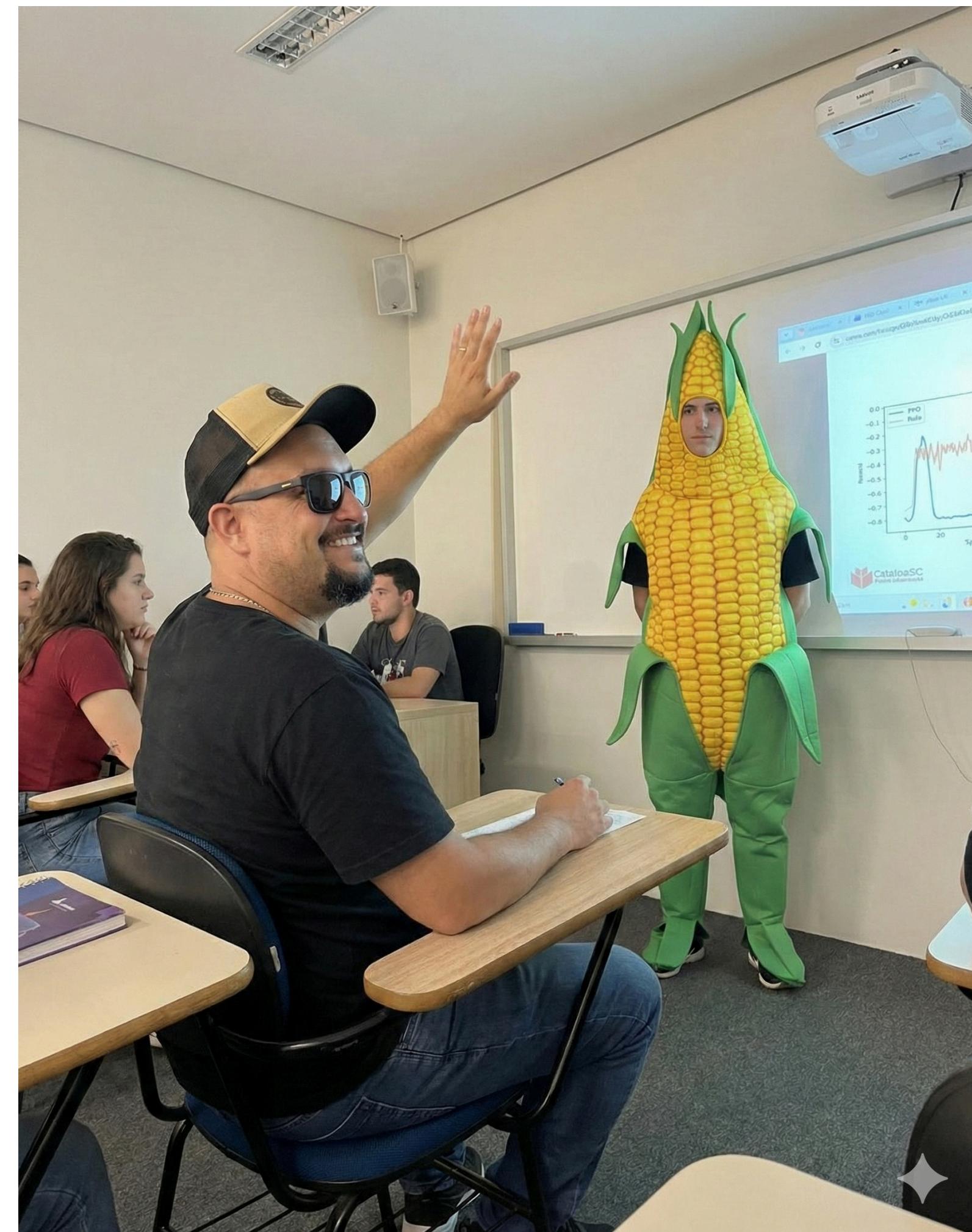
Simulação

Resultados:

Padrão FIFA	TEMPO
MELHOR CENÁRIO	8.46 minutos
TEMPO MÉDIO	9.00 minutos
PIOR CENÁRIO	9.62 minutos

Evacuação	TEMPO
MELHOR CENÁRIO	27.8 minutos
TEMPO MÉDIO	50.72 minutos
PIOR CENÁRIO	297.66 minutos

Perguntas?



OBRIGADO!

Trabalho N3 - Pesquisa Operacional

- **Maruan Biasi El Achkar**
 - **Ricardo Falcão Schlieper**
-

Curso: Engenharia de Software

Matéria: Pesquisa Operacional

Professor: Jaisson Potrich dos Reis

