

Notebook 6: Sumário de Medições e Cálculo de Incertezas

Curso ABAR - Medições Inteligentes e Gestão Integrada

Objetivo

1. Construir o sumário das condições operacionais do distrito
2. Calcular incertezas combinadas usando o método RSS

Conceitos-chave

Incerteza de Medição: Parâmetro que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser razoavelmente atribuídos ao mensurando.

Método RSS (Root Sum of Squares): Quando incertezas são independentes, a incerteza combinada é:

$$U_{combinada} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_n^2}$$

Incerteza Expandida: Para 95% de confiança (k=2):

$$U_{expandida} = k \times U_{combinada}$$

Limites regulamentares:

- Medição fiscal: ±1%
- Transferência de custódia: ±1%
- Apropriação: ±3%

Configuração do Google Colab

Este notebook foi adaptado para rodar no **Google Colab**.

Pré-requisito: Coloque o arquivo Excel na pasta do Google Drive:

Google Drive / ABAR / data / Analise de Condições de Operação de Distrito.xlsx

Se o arquivo estiver em outra pasta, altere `DRIVE_DATA_DIR` na célula abaixo.

```
# === CONFIGURAÇÃO GOOGLE COLAB ===  
# Monte o Google Drive  
from google.colab import drive
```

```
drive.mount('/content/drive')

from pathlib import Path
import os

# Pasta no Google Drive onde está o arquivo Excel
# Ajuste se necessário:
DRIVE_DATA_DIR = Path('/content/drive/MyDrive/ABAR/data')

# Pasta para salvar gráficos (no Colab)
GRAFICOS_DIR = Path('/content/graficos')
GRAFICOS_DIR.mkdir(parents=True, exist_ok=True)

EXCEL_DEFAULT = 'Analise de Condições de Operação de Distrito.xlsx'
EXCEL_PATH = DRIVE_DATA_DIR / EXCEL_DEFAULT

# Verificar se o arquivo existe
if EXCEL_PATH.exists():
    print(f'Arquivo encontrado: {EXCEL_PATH}')
    print(f'Tamanho: {EXCEL_PATH.stat().st_size / 1024:.0f} KB')
else:
    print(f'ERRO: Arquivo não encontrado em {EXCEL_PATH}')
    print(f'Conteúdo de {DRIVE_DATA_DIR}:')
    if DRIVE_DATA_DIR.exists():
        for f in DRIVE_DATA_DIR.iterdir():
            print(f' {f.name}')
    else:
        print(f' Pasta não existe! Crie: {DRIVE_DATA_DIR}')
```

Drive already mounted at /content/drive; to attempt to forcibly remount, call `Drive.mount('/content/drive')`

Arquivo encontrado: /content/drive/MyDrive/ABAR/data/Analise de Condições de
Tamanho: 2076 KB

```
import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns
import warnings

# Configurações gerais
warnings.filterwarnings('ignore')
pd.set_option('display.max_columns', 20)
pd.set_option('display.float_format', '{:,.2f}'.format)
plt.rcParams['figure.figsize'] = (14, 6)
plt.rcParams['font.size'] = 12

print('Bibliotecas carregadas com sucesso!')
```

Bibliotecas carregadas com sucesso!

1. Construção do Sumário de Condições Operacionais

Vamos calcular as estatísticas de volume, pressão e temperatura para cada ponto de medição.

```
# Mapeamento de clientes
CLIENTES = {
    'Cliente #1': 'Empresa A',
    'Cliente #2': 'Empresa B',
    'Cliente #3': 'Empresa C',
    'Cliente #4': 'Empresa D',
    'Cliente #5': 'Empresa E',
    'Cliente #6': 'Empresa F',
    'Cliente #7': 'Empresa G'
}

# Volumes de referência (Planilha1) para clientes sem dados horários
VOLUMES_REFERENCIA = {
    'Empresa D': 88184 # Nm³ total no período
}

# Carregar dados dos clientes
dados_clientes = {}
for aba, nome in CLIENTES.items():
    df = pd.read_excel(EXCEL_PATH, sheet_name=aba, header=2, usecols='B:E')
    df.columns = ['Data', 'Volume_Nm3h', 'Pressao_bar', 'Temperatura_C']
    df['Data'] = pd.to_datetime(df['Data'], errors='coerce')
    for col in ['Volume_Nm3h', 'Pressao_bar', 'Temperatura_C']:
        df[col] = pd.to_numeric(df[col], errors='coerce')
    df = df.dropna(subset=['Data']).reset_index(drop=True)
    sem_dados = len(df) == 0 or df['Volume_Nm3h'].dropna().empty
    dados_clientes[aba] = {'nome': nome, 'dados': df, 'sem_dados': sem_dados}

# Carregar dados de entrada
df_vol_ent = pd.read_excel(EXCEL_PATH, sheet_name='Vol Entrada Gas', header=
df_vol_ent.columns = ['Data', 'Vol_Conc', 'Vol_Transp']
df_vol_ent['Data'] = pd.to_datetime(df_vol_ent['Data'], errors='coerce')
for col in ['Vol_Conc', 'Vol_Transp']:
    df_vol_ent[col] = pd.to_numeric(df_vol_ent[col], errors='coerce')
df_vol_ent = df_vol_ent.dropna(subset=['Data']).reset_index(drop=True)

print('Dados carregados com sucesso!')
for aba, info in dados_clientes.items():
    if info['sem_dados']:
        print(f' AVISO: {info["nome"]} sem dados horários '
              f'(usando vol. referência: {VOLUMES_REFERENCIA.get(info["nome"]
```

Dados carregados com sucesso!

```
# Construir tabela de sumário
sumario = []
```

```

# Entrada (converter Nm3/d para Nm3/h dividindo por 24)
vol_ent_h = df_vol_ent['Vol_Conc'] / 24
sumario.append({
    'Ponto': 'Entrada (Concessionária)',
    'Tipo': 'Entrada',
    'Vol Mín (Nm³/h)': vol_ent_h.min(),
    'Vol Méd (Nm³/h)': vol_ent_h.mean(),
    'Vol Máx (Nm³/h)': vol_ent_h.max(),
    'Vol Total (Nm³)': df_vol_ent['Vol_Conc'].sum(),
    'Press Méd (bara)': np.nan,
    'Press Máx (bara)': np.nan,
    'Temp Méd (°C)': np.nan,
    'Temp Máx (°C)': np.nan
})

# Saídas (clientes)
for aba, info in dados_clientes.items():
    df = info['dados']
    if info['sem_dados']:
        vol_ref = VOLUMES_REFERENCIA.get(info['nome'], 0)
        sumario.append({
            'Ponto': info['nome'] + ' *',
            'Tipo': 'Saída',
            'Vol Mín (Nm³/h)': np.nan,
            'Vol Méd (Nm³/h)': np.nan,
            'Vol Máx (Nm³/h)': np.nan,
            'Vol Total (Nm³)': vol_ref,
            'Press Méd (bara)': np.nan,
            'Press Máx (bara)': np.nan,
            'Temp Méd (°C)': np.nan,
            'Temp Máx (°C)': np.nan
        })
    else:
        sumario.append({
            'Ponto': info['nome'],
            'Tipo': 'Saída',
            'Vol Mín (Nm³/h)': df['Volume_Nm3h'].min(),
            'Vol Méd (Nm³/h)': df['Volume_Nm3h'].mean(),
            'Vol Máx (Nm³/h)': df['Volume_Nm3h'].max(),
            'Vol Total (Nm³)': df['Volume_Nm3h'].sum(),
            'Press Méd (bara)': df['Pressao_barra'].mean(),
            'Press Máx (bara)': df['Pressao_barra'].max(),
            'Temp Méd (°C)': df['Temperatura_C'].mean(),
            'Temp Máx (°C)': df['Temperatura_C'].max()
        })

df_sumario = pd.DataFrame(sumario)

# Adicionar total de saídas
saidas = df_sumario[df_sumario['Tipo'] == 'Saída']
total_saida = saidas['Vol Total (Nm³)'].sum()

print('=== SUMÁRIO DE CONDIÇÕES OPERACIONAIS DO DISTRITO ===')
print(f'\nPeríodo: Abril a Setembro de 2025')
print(f'* = Volume de referência (Planilha1), sem dados horários\n')

```

```
df_sumario[['Ponto', 'Vol Mín (Nm³/h)', 'Vol Méd (Nm³/h)', 'Vol Máx (Nm³/h)',
            'Vol Total (Nm³)', 'Press Méd (bara)', 'Temp Méd (°C)']]
```

=== SUMÁRIO DE CONDIÇÕES OPERACIONAIS DO DISTRITO ===

Período: Abril a Setembro de 2025

* = Volume de referência (Planilha1), sem dados horários

	Ponto	Vol Mín (Nm³/h)	Vol Méd (Nm³/h)	Vol Máx (Nm³/h)	Vol Total (Nm³)	Press Méd (bara)	Temp Méd (°C)
0	Entrada (Concessionária)	21,081.87	41,648.42	51,702.70	182,919,850.06	NaN	NaN
1	Empresa A	1,359.00	23,965.14	31,245.00	104,104,553.00	15.47	23.49
2	Empresa B	178.00	10,051.67	17,113.00	43,664,475.00	15.96	23.41
3	Empresa C	0.00	1,566.69	4,959.00	6,841,747.00	5.15	17.84
4	Empresa D	0.00	47.39	187.00	88,184.00	18.57	23.64
5	Empresa E	300.00	2,344.53	4,244.00	10,184,645.00	4.93	16.70

```
# Calcular perda do distrito
vol_entrada = df_sumario[df_sumario['Tipo'] == 'Entrada']['Vol Total (Nm³)']
vol_saida = saidas['Vol Total (Nm³)'].sum()
diferenca = vol_entrada - vol_saida
diferenca_pct = (diferenca / vol_entrada) * 100

print(f'=== BALANÇO VOLUMÉTRICO ===')
print(f'Volume de Entrada: {vol_entrada:>20,.0f} Nm³')
print(f'Soma das Saídas: {vol_saida:>20,.0f} Nm³')
print(f'Diferença: {diferenca:>20,.0f} Nm³')
print(f'Diferença (%): {diferenca_pct:>20.2f}%')
print(f'\n** Valor esperado da planilha: ~0,64% **')
```

```
=== BALANÇO VOLUMÉTRICO ===
Volume de Entrada: 182,919,850 Nm³
Soma das Saídas: 180,923,440 Nm³
Diferença: 1,996,410 Nm³
Diferença (%): 1.09%
```

```
** Valor esperado da planilha: ~0,64% **
```

✓ 2. Cálculo de Incertezas

Incertezas individuais por ponto de medição

Os valores de incerteza vêm da aba "Incertezas" da planilha, que refletem:

- Incerteza do medidor de vazão
- Incerteza dos transmissores de pressão e temperatura

- Incerteza do fator de compressibilidade
- Incerteza da composição (cromatografia)

```
# Incertezas por ponto de medição (valores da aba "Incertezas", em fração de
# Entrada: Tramo 101 (célula G7) = 0.0106, Tramo 501 (célula G11) = 0.0109
# Fórmula da planilha: =SQRT(G7^2+G11^2)
incertezas = {
    'Entrada - Tramo 101 (Comgás 1)': 0.0106,
    'Entrada - Tramo 501 (Comgás 2)': 0.0109,
    'Empresa A': 0.0133,
    'Empresa B': 0.0161,
    'Empresa C': 0.0134,
    'Empresa D': 0.0358,
    'Empresa E': 0.0305,
    'Empresa F': 0.0148,
    'Empresa G': 0.028
}

print('=== Incertezas Individuais por Ponto de Medição ===')
for ponto, inc in incertezas.items():
    print(f'{ponto:<40} {inc*100:.2f}%')
```

```
=== Incertezas Individuais por Ponto de Medição ===
Entrada - Tramo 101 (Comgás 1)          1.06%
Entrada - Tramo 501 (Comgás 2)          1.09%
Empresa A                               1.33%
Empresa B                               1.61%
Empresa C                               1.34%
Empresa D                               3.58%
Empresa E                               3.05%
Empresa F                               1.48%
Empresa G                               2.80%
```

✓ Cálculo da Incerteza Combinada (RSS)

Para pontos de medição **independentes**, a incerteza combinada é calculada pela raiz da soma dos quadrados:

$$U_{combinada} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_n^2}$$

```
# Incerteza combinada da ENTRADA
inc_entrada = [incertezas['Entrada - Tramo 101 (Comgás 1)'], incertezas['Ent
u_entrada = np.sqrt(np.sum(np.array(inc_entrada)**2))

print('=== INCERTEZA COMBINADA DA ENTRADA (RSS) ===')
print(f'Tramo 101: {inc_entrada[0]*100:.2f}%')
print(f'Tramo 501: {inc_entrada[1]*100:.2f}%')
print(f'Fórmula: sqrt({inc_entrada[0]:.4f}^2 + {inc_entrada[1]:.4f}^2)')
print(f'U_entrada = sqrt({inc_entrada[0]**2:.8f} + {inc_entrada[1]**2:.8f})')
print(f'U_entrada = sqrt({sum(x**2 for x in inc_entrada):.8f})')
print(f'U_entrada = {u_entrada:.4f} = {u_entrada*100:.2f}%')
print(f'\n** Valor esperado: ~1,52% **')
```

```
=== INCERTEZA COMBINADA DA ENTRADA (RSS) ===
Tramo 101: 1.06%
Tramo 501: 1.09%
Fórmula: sqrt(0.0106^2 + 0.0109^2)
U_entrada = sqrt(0.00011236 + 0.00011881)
U_entrada = sqrt(0.00023117)
U_entrada = 0.0152 = 1.52%

** Valor esperado: ~1,52% **
```

```
# Incerteza combinada das SAÍDAS
inc_saidas = [
    incertezas['Empresa A'],
    incertezas['Empresa B'],
    incertezas['Empresa C'],
    incertezas['Empresa D'],
    incertezas['Empresa E'],
    incertezas['Empresa F'],
    incertezas['Empresa G']
]

u_saida = np.sqrt(np.sum(np.array(inc_saidas)**2))

print('=== INCERTEZA COMBINADA DAS SAÍDAS (RSS) ===')
print('Fórmula: sqrt(', end='')
for i, inc in enumerate(inc_saidas):
    if i > 0:
        print(' + ', end='')
    print(f'{inc:.4f}^2', end='')
print(')')
print(f'\nU_saida = sqrt({sum(x**2 for x in inc_saidas):.8f})')
print(f'U_saida = {u_saida:.4f} = {u_saida*100:.2f}%')
print(f'\n** Valor esperado: ~6,19% (vazao normal) **')
```

```
=== INCERTEZA COMBINADA DAS SAÍDAS (RSS) ===
Fórmula: sqrt(0.0133^2 + 0.0161^2 + 0.0134^2 + 0.0358^2 + 0.0305^2 + 0.0148^2 + 0.0

U_saida = sqrt(0.00383059)
U_saida = 0.0619 = 6.19%

** Valor esperado: ~6,19% (vazao normal) **
```

✓ 3. Gráficos

3.1 Incerteza por Ponto de Medição

```
fig, ax = plt.subplots(figsize=(12, 7))

pontos = list(incertezas.keys())
valores = [v * 100 for v in incertezas.values()] # Em percentual

cores = ['#2196F3' if 'Entrada' in p else '#FF9800' for p in pontos]

bars = ax.barh(pontos[::-1], valores[::-1], color=cores[::-1], alpha=0.8, ed

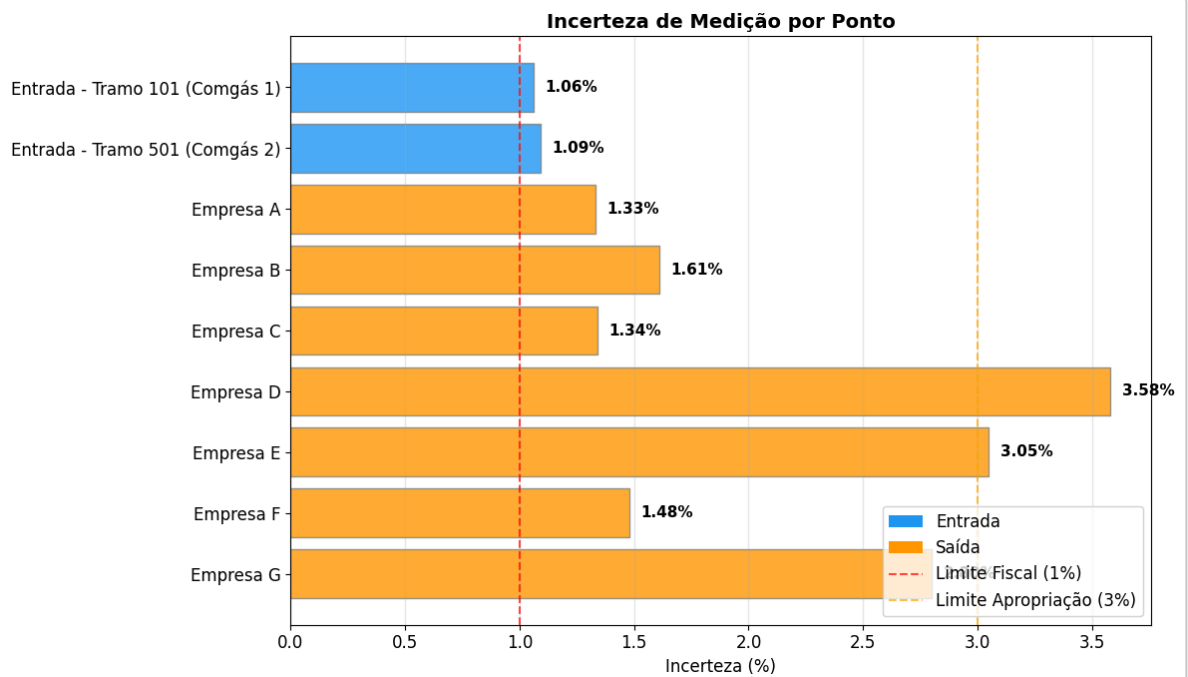
# Rótulos
for bar, val in zip(bars, valores[::-1]):
    ax.text(bar.get_width() + 0.05, bar.get_y() + bar.get_height()/2,
            f'{val:.2f}%', va='center', fontsize=11, fontweight='bold')

# Linha de referência (1% limite fiscal)
ax.axvline(x=1.0, color='red', linestyle='--', alpha=0.7, label='Limite Fisc
ax.axvline(x=3.0, color='orange', linestyle='--', alpha=0.7, label='Limite A

ax.set_title('Incerteza de Medição por Ponto', fontsize=14, fontweight='bold
ax.set_xlabel('Incerteza (%)')
ax.legend(loc='lower right')
ax.grid(True, alpha=0.3, axis='x')

# Legenda de cores
from matplotlib.patches import Patch
legend_elements = [Patch(facecolor='#2196F3', label='Entrada'),
                   Patch(facecolor='#FF9800', label='Saída')]
ax.legend(handles=legend_elements + ax.get_legend_handles_labels()[0][:2], 1

plt.tight_layout()
plt.savefig(str(GRAFICOS_DIR / 'incertezas_barras.png'), dpi=150, bbox_inche
plt.show()
```



✓ 3.2 Incertezas Combinadas

```
fig, ax = plt.subplots(figsize=(10, 6))

categorias = ['Entrada\n(combinação)', 'Saídas\n(combinação)']
u_valores = [u_entrada * 100, u_saida * 100]
cores = ['#2196F3', '#FF9800']

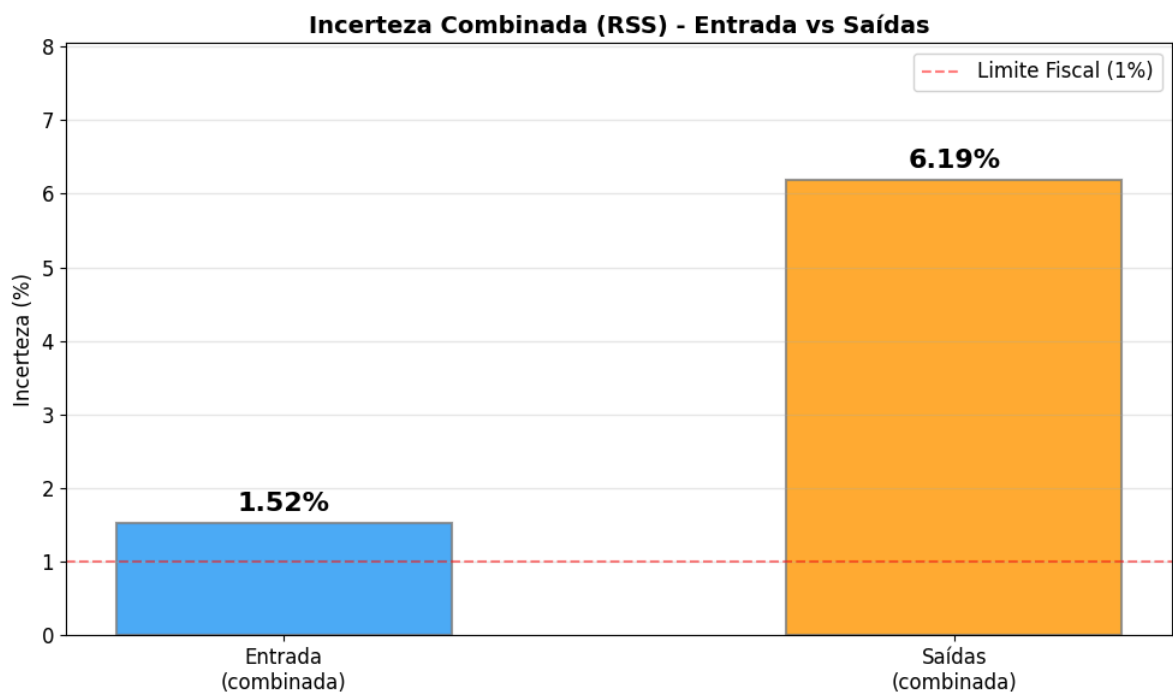
bars = ax.bar(categorias, u_valores, color=cores, alpha=0.8,
              width=0.5, edgecolor='gray', linewidth=1.5)

# Rótulos
for bar, val in zip(bars, u_valores):
    ax.text(bar.get_x() + bar.get_width()/2, bar.get_height() + 0.1,
            f'{val:.2f}%', ha='center', va='bottom', fontsize=16, fontweight
```

```
# Referências
ax.axhline(y=1.0, color='red', linestyle='--', alpha=0.5, label='Limite Fisc

ax.set_title('Incerteza Combinada (RSS) - Entrada vs Saídas', fontsize=14, f
ax.set_ylabel('Incerteza (%)')
ax.legend()
ax.grid(True, alpha=0.3, axis='y')
ax.set_ylim(0, max(u_valores) * 1.3)

plt.tight_layout()
plt.savefig(str(GRAFICOS_DIR / 'incertezas_rss.png'), dpi=150, bbox_inches='
plt.show()
```



✓ 3.3 Contribuição de Cada Ponto na Incerteza Total das Saídas

```
# A contribuição de cada componente na incerteza RSS é proporcional a  $u_i^2$ 
nomes_saida = ['Empresa A', 'Empresa B', 'Empresa C',
               'Empresa D', 'Empresa E', 'Empresa F', 'Empresa G']

contribuicoes = [(inc**2) / sum(x**2 for x in inc_saídas) * 100 for inc in i
```

```

fig, (ax1, ax2) = plt.subplots(1, 2, figsize=(16, 6))

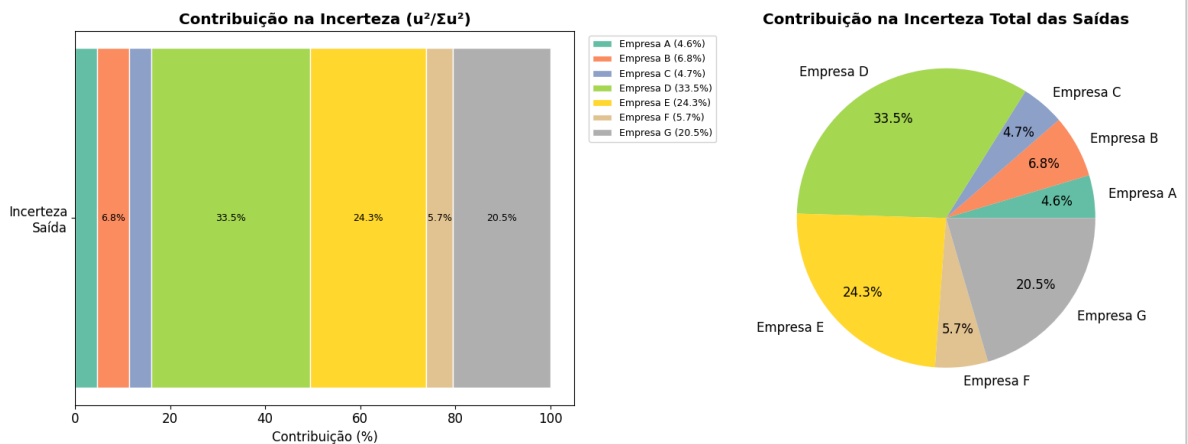
# Barras empilhadas horizontais
cores_contrib = plt.cm.Set2(np.linspace(0, 1, len(nomes_saida)))
left = 0
for i, (nome, contrib) in enumerate(zip(nomes_saida, contribuicoes)):
    ax1.barh('Incerteza\nSaída', contrib, left=left, color=cores_contrib[i],
            label=f'{nome} ({contrib:.1f}%)', edgecolor='white')
    if contrib > 5:
        ax1.text(left + contrib/2, 0, f'{contrib:.1f}%', ha='center', va='ce
    left += contrib

ax1.set_title('Contribuição na Incerteza ( $u^2/\Sigma u^2$ )', fontweight='bold')
ax1.set_xlabel('Contribuição (%)')
ax1.legend(bbox_to_anchor=(1.02, 1), loc='upper left', fontsize=9)

# Pizza
ax2.pie(contribuicoes, labels=nomes_saida, autopct='%1.1f%%',
        colors=cores_contrib, pctdistance=0.75)
ax2.set_title('Contribuição na Incerteza Total das Saídas', fontweight='bold')

plt.tight_layout()
plt.savefig(str(GRAFICOS_DIR / 'incertezas_contribuicao.png'), dpi=150, bbox
plt.show()

```



4. Conclusões

Observações:

- Incerteza combinada da **entrada: ~1,52%** (acima do limite fiscal de 1%, mas aceitável para distribuição)