

Fórmula SIMPLIFICADA --- $V_c = (R_h' + C_i') \times [1 - (E_t' \times C_r' \times F_c')]$

onde:

V_c = vazão controlada,

R_h = regime hidrológico,

Fórmula - $R_h' = R_h \times [A + P + E(U + I)]$

(A = Aporte de afluentes;

P = Precipitação;

E = Escoamento superficial;

U = Uso do solo,

I = Infiltração).

C_i = chuvas intensas,

Fórmula - $C_i' = C_i \times [I_m \times A_e(t) \times P_f(t)]$

(I_m = Intensidade média da chuva (mm/h);

$A_e(t)$ = Amplitude do evento extremo (1-3), modelando picos intensos,

$P_f(t)$ = Fator probabilístico de ocorrência (0-1), indica se chove ou não naquele tick).

E_t = eficiência técnica,

Fórmula - $E_t' = E_t \times [0.4C_t + 0.3D_s + 0.2R_o + 0.1C_f]$

(C_t = Competência técnica de equipe;

D_s = Disponibilidade dos sensores e sistemas;

R_o = Rapidez de operação (1 / tempo de resposta),

C_f = Confiabilidade do sistema).

Interpretação dos valores (escala 0 a 1)

Valor de E_t	Significado	Situação típica
0.0 – 0.1	Perda muito baixa	Períodos chuvosos, clima úmido, baixa radiação solar
0.2 – 0.4	Perda moderada	Clima ameno, vegetação controlada
0.5 – 0.7	Perda alta	Clima quente e seco, vegetação densa, longos períodos sem chuva
0.8 – 1.0	Perda extrema	Seca prolongada, temperatura elevada, vegetação com alta transpiração

C_r = capacidade de retenção,

Fórmula - $C_r' = C_r \times (C_{r1} + C_{r2} + C_{r4}) / (1 + C_{r3})$

(C_{r1} = Capacidade estrutural;

C_{r2} = Eficiência de descarga;

C_{r3} = Tempo de reposta operacional,

C_{r4} = Manutenção e integridade).

Interpretação:

- C_r alto (próximo de 1): a barragem responde bem. Liberação e retenção eficazes, estrutura íntegra.

- C_r baixo (próximo de 0): a barragem responde mal. Falhas mecânicas, má operação, manutenção insuficiente.

F_c = fator comporta.

Fórmula - $F_c' = F_c \times [F_{c1} + (1 - F_{c2}) + (1 - F_{c3}) + (1 - F_{c4})] / 4$

(F_{c1} = Vulnerabilidade social;

F_{c2} = Capacidade de adaptação;

F_{c3} = Comunicação e alerta,

F_{c4} = infraestrutura crítica).

Interpretação dos valores de F_c :

Valor de F_c	Situação comunitária	Interpretação
0.0 – 0.2	Alta resiliência	Comunidades bem preparadas, impactos minimizados
0.3 – 0.5	Média resiliência	Estruturas parciais de contenção e alerta
0.6 – 0.8	Alta vulnerabilidade	Comunidades sem estrutura de resposta
0.9 – 1.0	Crítica	População desprotegida, alto risco de perdas humanas e materiais

- F_c alto - agrava os danos sociais e econômicos.

- F_c baixo – comunidade preparada = menor impacto.

O que é o Regime Hidrológico (R_h)

O **regime hidrológico do Rio Hercílio** (ou de qualquer rio) é a **variação natural da vazão do rio ao longo do tempo**, resultante de fatores como:

- precipitação (chuva) e infiltração no solo,
- escoamento superficial,
- evaporação,
- aporte de afluentes,
- e uso do solo na bacia.

Em outras palavras, ele indica **quanto de água o rio normalmente transporta**, mesmo **sem chuva intensa ou ação da barragem**.

Elemento	Descrição	Tipo	Unidade / Faixa sugerida
Vazão média do rio	Valor médio de escoamento natural sem chuva	Constante base	200–500 m ³ /s
Variação temporal	Oscilações naturais (ex.: estação seca/chuvosa)	Função temporal (ex.: seno, ruído aleatório)	±20% da média
Sensibilidade à chuva local	Quanto o regime aumenta conforme chuva	Coefficiente multiplicador	0–0.3
Área de drenagem efetiva	Proporção da bacia que contribui à vazão	Percentual (0–1)	0.5–1.0
Tempo de resposta	Atraso entre chuva e aumento de vazão	Delay (ticks)	1–3 ticks

O que é o parâmetro C_i

O C_i representa a **intensidade das chuvas incidentes na bacia de contribuição da Barragem de José Boiteux** durante um intervalo de tempo (por exemplo, uma hora ou um dia).

Ele reflete **eventos extremos de precipitação** — chuvas concentradas, temporais, frentes frias — que podem elevar o nível do rio rapidamente.

No modelo, C_i é uma **variável ambiental de entrada**, com comportamento estocástico (aleatório) ou sazonal.

Elemento	Descrição	Tipo	Unidade / Faixa sugerida	Impacto
Intensidade média da chuva	Valor médio esperado de precipitação	Base / parâmetro inicial	0 – 200 mm/h	Eleva diretamente a vazão total
Duração do evento	Quanto tempo o evento de chuva dura	Parâmetro temporal	1 – 10 ticks	Controla a persistência da chuva
Frequência de ocorrência	Probabilidade de chover em um tick	Probabilidade (0–1)	0.1 – 0.5	Define se a chuva é esporádica ou frequente
Amplitude do evento extremo	Multiplicador para eventos raros	Coeficiente (1–3)	1 – 3	Permite simular enchentes críticas
Área afetada	Porção da bacia atingida pela chuva	Proporção (0–1)	0.4 – 1.0	Reduz o efeito da chuva se atingir apenas parte da bacia

O que é E_t (Eficiência de Controle Técnico)

O parâmetro E_t expressa o **nível de eficiência operacional e tecnológica** do sistema de controle da barragem — ou seja, **o quanto o sistema consegue reagir corretamente** às variações de chuva e vazão.

Ele combina fatores humanos, técnicos e estruturais, como:

- precisão dos **sensores e instrumentos** (nível, vazão, pluviômetros);
- **tempo de resposta** do operador;
- **treinamento e planejamento** para situações de emergência;
- **integração de dados** entre agências meteorológicas e a administração da barragem;
- confiabilidade do **sistema automatizado** (atuadores, comportas, energia, etc.).

Elemento	Descrição	Tipo	Faixa sugerida (0–1)	Interpretação
Eficiência média	Grau geral de controle técnico	Valor base	0.6 – 0.9	1 = sistema perfeito; 0 = falha total

Tempo de resposta operacional	Demora entre evento e ação	Variável associada	0 – 10 ticks	Quanto maior, menor a eficiência
Confiabilidade do sistema	Probabilidade de não falhar	Probabilidade (0–1)	0.8 – 1.0	Reflete redundância e automação
Competência técnica	Nível de treinamento da equipe	Coeficiente	0.5 – 1.0	Simula a influência humana
Disponibilidade de sensores	Proporção de sensores funcionando	Percentual (0–1)	0.5 – 1.0	Impacta diretamente a precisão das ações

Cr — Coeficiente de Resposta da Barragem

Função:

O **Cr** representa a **eficiência física e operacional da barragem** em responder aos eventos hidrológicos — isto é, **o quanto a estrutura consegue suportar, conter ou liberar água de forma segura e controlada**.

Um **Cr alto** indica uma barragem **eficiente e bem mantida**; um **Cr baixo** indica **falhas estruturais, lentidão operacional ou má conservação**.

Subparâmetro	Descrição	Tipo	Intervalo típico
Cr₁ – Capacidade estrutural	Relação entre o volume máximo suportado e o volume atual. Mede a resistência física da barragem a sobrecarga.	Numérico	0–1
Cr₂ – Eficiência de descarga	Representa a eficiência do vertedouro e das comportas para liberação controlada da água.	Numérico	0–1
Cr₃ – Tempo de resposta operacional	Tempo médio para intervenção humana ou automática após aumento do nível.	Numérico	>0 (pode ser transformado em peso inverso)
Cr₄ – Manutenção e integridade	Grau de conservação e manutenção da estrutura, influenciando sua confiabilidade.	Numérico	0–1

Fc — Fator de Correção Comunitário

Função:

Representa a **vulnerabilidade e a capacidade de resposta das comunidades** afetadas pela barragem.

Em outras palavras, é um coeficiente que **amplifica ou reduz o impacto**

socioeconômico de acordo com o preparo da comunidade, sua infraestrutura, e os mecanismos de mitigação existentes.

Subparâmetro	Descrição	Tipo	Intervalo típico
Fc₁ – Vulnerabilidade social	Mede o grau de exposição da população ao risco (nível de pobreza, localização em áreas de risco, dependência da barragem).	Numérico	0–1
Fc₂ – Capacidade de adaptação	Avalia o quanto a comunidade consegue reagir e se recuperar (planos de evacuação, assistência social, recursos).	Numérico	0–1
Fc₃ – Comunicação e alerta	Eficiência dos sistemas de aviso e resposta (sirene, comunicação local, monitoramento).	Numérico	0–1
Fc₄ – Infraestrutura crítica	Grau de preparo de estradas, pontes, hospitais e energia frente a enchentes.	Numérico	0–1

Forma final do modelo completo

Símbolo	Nome do Parâmetro	Tipo	Intervalo (sugerido)	Interpretação
Vc	Vazão controlada (m ³ /s)	Variável dependente (resultado)	≥ 0	É a vazão de saída após o controle da barragem. Indica quanto de água o sistema deixa seguir pelo rio. Quanto menor o valor, maior a eficiência no controle de enchentes.
Rh	Regime hidrológico (m ³ /s)	Variável de entrada (ambiental)	200 – 500	Representa a vazão natural do Rio Hercílio (sem influência da barragem). Reflete o comportamento hidrológico da bacia — aumenta com o volume de água que chega ao rio.
Ci	Chuvas intensas (mm/h)	Variável de entrada (ambiental)	0 – 200	Representa a intensidade das chuvas na região. Aumenta a quantidade de água que chega à barragem e ao rio.
Et	Eficiência de controle técnico (adimensional)	Parâmetro interno da barragem	0 – 1	Mede a eficiência operacional : monitoramento, tempo de resposta e precisão no manejo. Um valor alto significa operação eficaz e previsível.

Cr	Capacidade de retenção (adimensional)	Parâmetro interno da barragem	0 – 1	Representa o quanto a barragem consegue reter temporariamente da água. 1 = 100% da capacidade de retenção.
Fc	Fator comporta (adimensional)	Parâmetro de controle	0.3, 0.6, 1.0	Expressa o grau de abertura das comportas . 0.3 = fechadas, 0.6 = parcialmente abertas, 1.0 = totalmente abertas. Controla diretamente o fluxo de saída.