

Perfeito — fiz uma validação do seu back-end confrontando-o com o “Manual – LCOH Calculator” e destaquei o que já está alinhado e o que precisa de ajustes para aderir 100% à metodologia do EHO.

### Onde o seu back-end já está no caminho certo

- **Estrutura por componentes:** o manual define o LCOH como soma de CAPEX, eletricidade, OPEX “outros”, tarifas de rede, impostos, menos subsídios e receita de oxigênio (waterfall) . Seu serviço já separa CAPEX/OPEX/energia (boa base para o waterfall).
- **Anuidades vs NPV:** você anualiza CAPEX com CRF. Isso é matematicamente equivalente ao uso de NPV do denominador (kg descontados) do Manual, desde que a taxa e a vida econômica coincidam (vide Eq.7–8 e explicação da taxa) .

### Lacunas que impedem a conformidade com o Manual e o que mudar

#### 1. Energia média ao longo da vida (degradação + trocas de stack)

- O Manual exige calcular nº de trocas de stack (Eq.2) e a **energia específica média** no ciclo de vida (Eq.3), pois a SEC aumenta com degradação; isso alimenta capacidade (Eq.4), produção (Eq.5) e consumo total (Eq.6) .
- **Situação atual:** você usa uma SEC “pontual/ano 1” (com ou sem compressão) e uma depreciação anual simples.
- **Ajuste recomendado:** implementar Eq.2–3 literalmente (degradação % por 1000 h, durabilidade em horas, *lifetime* de 25 anos) e recalcular capacidade, produção e MWh com a SEC média.

#### 2. Grid fees (tarifas de rede) e impostos de eletricidade como componentes explícitos

- Manual: tarifas/impostos são **EUR/MWh** aplicados ao consumo (Eq.14–17) e **não** se aplicam a PV & eólica onshore (conexão direta); aplicam-se a atacado/offshore (conexão à rede) .
- **Situação atual:** você modela preço de energia e *demand charge*, mas não separa rede e impostos.
- **Ajuste recomendado:** adicionar campos `grid_fees_eur_per_mwh` e `electricity_taxes_eur_per_mwh`, computando custos por Eq.14–17 e zerando-os automaticamente para cenários PV/onshore conforme defaults do Manual .

#### 3. Subsídios e receitas de oxigênio, com as três vias de subsídio

- Manual: (1) subsídio CAPEX por kW (com NPV no denominador em EUR/kg), (2) prêmio/tarifa em EUR/kg H<sub>2</sub>, (3) redução de grid/taxes em EUR/MWh; e **receita de O<sub>2</sub>** via Eq.23–25 (8 kg O<sub>2</sub> por kg H<sub>2</sub>; preço em EUR/t) .
- **Situação atual:** não há tratamento explícito desses termos.
- **Ajuste recomendado:** incluir:
  - capex\_subsidy\_eur\_per\_kw, h2\_premium\_eur\_per\_kg, reduction\_grid\_or\_tax\_eur\_per\_mwh, oxygen\_sale\_price\_eur\_per\_ton, implementando Eq.19–22 e Eq.23–25 estritamente (termos entram com sinal negativo no LCOH) .

#### 4. OPEX “outros” e custo de troca de stack conforme Eq.11–13

- Manual: “outros OPEX” = %CAPEX/ano × vida; “stack replacement costs” = (%CAPEX) × CAPEX × n° de trocas; ambos viram EUR/kg pela divisão pela produção total (Eq.11–13) .
- **Situação atual:** OPEX fixo/variável genérico; *stack* anualizado.
- **Ajuste recomendado:** adicionar other\_opex\_pct\_capex\_per\_year e stack\_replacement\_pct\_capex, calcular conforme Eq.11–13 (cuidado para usar o **n° inteiro de trocas** de Eq.2) .

#### 5. Parâmetros de operação (horas/ano) e casos “4000 horas mais baratas”

- Manual: para “wholesale” usa-se **4.000 horas mais baratas**; PV/onshore/offshore derivam de CFs e ajustes de *up/downscaling* do eletrolisador .
- **Situação atual:** você usa um capacity\_factor anual único.
- **Ajuste recomendado:** aceitar operating\_hours\_per\_year (alternativo ao CF) e, quando a fonte for “wholesale”, permitir informar preço médio **ponderado pelas 4.000 h**; quando combinar fontes, calcular preços médios ponderados conforme Eq.26 (útil para “PV + wholesale”) .

#### 6. Definições de escopo de CAPEX

- Manual: CAPEX **da fonte elétrica** (e.g., PV/wind) **não entra** no CAPEX do LCOH (fica no componente “custo de eletricidade”); nem custos de transporte/processamento downstream (fora de escopo) .

- **Checagem:** garantir que seu CAPEX inclua apenas planta de produção (eletrólise + BOP) e não CAPEX de geração.

## 7. Padrões de taxa e vida econômica

- Manual: exemplos usam **vida = 25 anos** e **custo de capital = 6% a.a.** para o cálculo de CAPEX/NPV .
- **Situação atual:** vida padrão  $\approx 20$  anos; WACC real variável.
- **Ajuste recomendado:** adotar defaults 25 anos e 6% (podendo manter “customizável”), e deixar claro no cálculo do CAPEX em EUR/kg que a taxa usada é a informada (ou 6% se o objetivo for reproduzir o EHO).

## Mudanças concretas sugeridas no seu back-end (resumo técnico)

### Novos campos no schema de entrada

- `operating_hours_per_year` (float) — alternativa a `annual_capacity_factor`.
- `grid_fees_eur_per_mwh` (float), `electricity_taxes_eur_per_mwh` (float).
- `capex_subsidy_eur_per_kw` (float), `h2_premium_eur_per_kg` (float), `reduction_grid_or_tax_eur_per_mwh` (float), `oxygen_sale_price_eur_per_ton` (float).
- `stack_durability_hours` (float), `stack_degradation_pct_per_1000h` (float).
- `stack_replacement_pct_capex` (float), `other_opex_pct_capex_per_year` (float).
- `economic_life_years` (int, default 25), `discount_rate` (real, default 0.06).

### Mudanças no cálculo

1. Calcular `stack_replacements` =  $\text{floor}(\text{life\_years} * \text{operating\_hours\_per\_year} / \text{stack\_durability\_hours})$  (Eq.2) .
2. Calcular **SEC média** do projeto pela Eq.3 (usar degradação %/1000h) e desta obter: capacidade (Eq.4), produção total (Eq.5) e MWh (Eq.6) .
3. **CAPEX (EUR/kg)** = `Electrolyser_CAPEX` / `NPV(kg)` (Eq.7–8). Se preferir manter CRF, use vida=25 e taxa=6% por padrão para reproduzir Eq.8 (equivalente quando kg/ano é constante) .
4. **Energia (EUR/kg):** custo de energia (Eq.9) / produção (Eq.10) .

5. **Outros OPEX (EUR/kg):** somar Eq.11 (troca de stack) + Eq.12 (outros %CAPEX×anos), dividir por kg (Eq.13) .
6. **Grid fees & Taxes (EUR/kg):** Eq.14–17 (zerar para PV/onshore por *default*) .
7. **Subsídios (EUR/kg):** Eq.19–22 (CAPEX grant com NPV no denominador; prêmio em €/kg; redução €/MWh aplicada ao MWh do projeto) com sinal **negativo** no LCOH .
8. **O<sub>2</sub> (EUR/kg):** Eq.23–25 (8 kg O<sub>2</sub> por kg H<sub>2</sub>; preço EUR/t; entra **negativo** no LCOH) .
9. **Combinação de fontes:** quando “PV + wholesale”, calcular preços médios ponderados (eletricidade, grid e impostos) pela Eq.26, a partir das horas de cada fonte .

#### Defaults alinhados ao Manual

- economic\_life\_years = 25, discount\_rate = 0.06, operating\_hours\_per\_year = 4000 para “wholesale” (quando o usuário quer reproduzir a lógica EHO) .
- Grid/taxes **0** para PV/onshore por *default* (com possibilidade de o usuário sobrescrever) .

---

#### Checklist de conformidade (rápido)

- SEC média por Eq.3 implementada.
- Trocas de stack por Eq.2; custos por Eq.11–13.
- Componentes “Grid fees” e “Taxes” explícitos (Eq.14–17).
- Subsídios (Eq.19–22) e O<sub>2</sub> (Eq.23–25) com sinal correto.
- CAPEX em EUR/kg via NPV (ou CRF equivalente) com 25a/6%.
- Horas/ano aceitas (incl. caso 4.000 h atacado) e mistura de fontes via Eq.26.
- CAPEX não inclui geração elétrica (apenas planta de H<sub>2</sub>)

....

Perfeito! Abaixo está um módulo Python **compatível com o Manual LCOH** (EHO, mai/2024), implementando explicitamente as equações usadas no documento

para: degradação e trocas de stack (Eq.2–3), capacidade/produção/consumo (Eq.4–6), eletricidade (Eq.9–10), outros OPEX (Eq.11–13), grid fees e impostos (Eq.14–17), subsídios (Eq.19–22) e receitas de O<sub>2</sub> (Eq.23–25). O LCOH total é composto conforme a Eq.1 (waterfall). Referências-chave: .

Notas de aderência ao Manual

- **Vida econômica:** 25 anos (padrão do manual) e **trocas de stack** via Eq.2 (arredondamento para baixo).
- **SEC média da vida** (degradação %/1000h, com “reset” nas trocas) usada em capacidade, produção e MWh (Eq.3–6).
- **Grid fees & impostos** explícitos (EUR/MWh → EUR/kg), zerados por *default* para PV/eólica onshore (conexão direta), conforme Tabela 4/descrição.
- **Subsídios:** CAPEX (€/kW) + prêmio (€/kg) + redução (€/MWh), agregados como receita negativa por kg (Eq.19–22).
- **O<sub>2</sub>:** 8 kg O<sub>2</sub>/kg H<sub>2</sub> (Eq.23), receita total (Eq.24) e por kg (Eq.25) com sinal negativo no LCOH.
- **Wholesale (4.000 h):** campo `operating_hours_per_year` para refletir casos “4.000 horas mais baratas” (ou outro valor).

....

### Como encaixar no seu back-end atual

1. **Adicionar rota** `/simulate_eho` em seu FastAPI que converta o JSON para EHOScenario e retorne `simulate_eho()`.
2. **Padrões:** para reproduzir os casos do manual, use `economic_life_years=25`, `operating_hours_per_year=4000`, e zere `grid_fees_eur_per_mwh` e `electricity_taxes_eur_per_mwh` quando a fonte for PV/onshore.
3. **Wholesale:** ajuste `operating_hours_per_year` (p.ex. 4.000 h) e `electricity_price_eur_per_mwh` para refletir o preço médio ponderado das horas escolhidas (o manual usa “4.000 horas mais baratas” como referência para álcali).
4. **Subsídios e O<sub>2</sub>:** informe os campos de `EHOSubsidiesAndRevenues` para capturar as três vias de subsídio e a venda de oxigênio (entrando **negativo** no LCOH por kg).