Categoria IV: Descarbonização e Eficiência Energética
Eixo temático: Eletrificação e Descarbonização

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

Aplicação de Piloto para Substituição Parcial de Frota de Caminhões a Diesel por Caminhões Elétricos em Mina de Ferro

Itaminas Comércio de Minério S.A.

Lais Ferreira Tavares
Guilherme Siqueira Ribeiro
João Paulo Moreira de Souza

Contexto: desafio energético e mina favorável

47%

do diesel mensal da operação está no transporte de material

- **Preço e câmbio**
- **Risco de escassez**
- **Emissões de GEE**

Sarzedo (MG)
minério de ferro, céu aberto

~1.000 + 2.000
próprios e terceiros

Frota TSL
100% terceirizada

CCO e despacho
gestão em tempo real

Carregado em declive
regenera energia



71%

dos deslocamentos em declive com carga

~4 km
DMT

~22
ciclos/dia

Pergunta do trabalho: o elétrico supera o diesel de mesmo porte, com autonomia compatível, em operação real de lavra?

PILOTO

Pioneirismo: 1º caminhão elétrico 8x4 em mina de ferro

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026



Sany SYZ422BEV 8x4 · mar–mai/2026 · integrado ao despacho desde o 1º dia

Carga útil
45 t

Bateria LFP
400 kWh

Potência nominal / pico
315 / 460 kW

Torque máximo
2.900 Nm

Regime (~16 h efetivas)
24 h/dia

Produção
~22 ciclos por dia

ROM, estéril e produto
rotas reais

Recarga lenta*
~2,25 h no pátio

* gerador temporário, usado só para viabilizar o teste. Fontes: Itaminas (2026); SANY (2026).

Metodologia: comparação pareada via despacho

Sistema de despacho

fonte única; 99% da base após expurgo de anômalos

Pareamento

- **Mesmo porte**
- **Mesma rota**
- **Mesmo período**

Indicadores

Produtividade e ciclo
Velocidades carregado e vazio
Energia, custo e CO_2
Autonomia e disponibilidade

1 Piloto · mar–mai/26

Cada ciclo de recarga do elétrico × média dos diesel 8x4 na mesma rota e período; troca de rota só ao fim de cada recarga.

2 Escala · ago–set/26

10 elétricos × frota diesel 44T em 243 combinações de mesma origem, escavadeira, destino, data e turno; massa calculada pelo despacho.

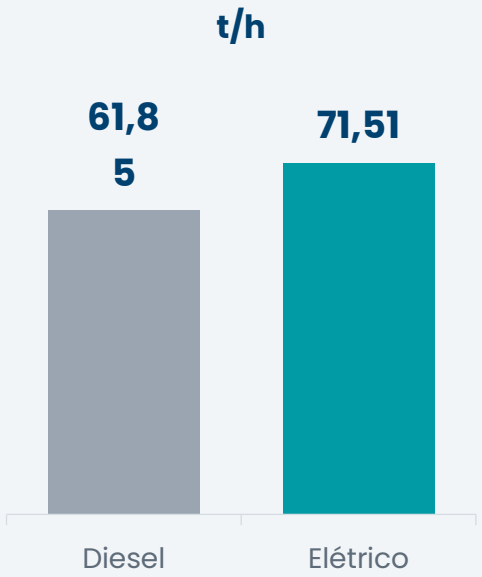
Por que pareado: a comparação por ciclo isola o efeito da tecnologia e independe da disponibilidade física dos equipamentos.

PILOTO

Piloto: +15,6% de produtividade e –97% de custo por t

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

DESEMPENHO OPERACIONAL



Ciclo (min)
42,25 → 36,34
-14,0%

Vel. carregado (km/h)
13,00 → 14,88
+14,5%

Vel. vazio (km/h)
14,39 → 15,95
+10,8%

ENERGIA, CUSTO E EMISSÕES

-97%
custo energético por tonelada
R$ 1,87/t → R$ 0,05/t

-96%
custo energético mensal
R$ 5,78/L × R$ 0,32/kWh

-96%
potencial de redução de CO_2
53,6 → 1,95 kg CO_2/h

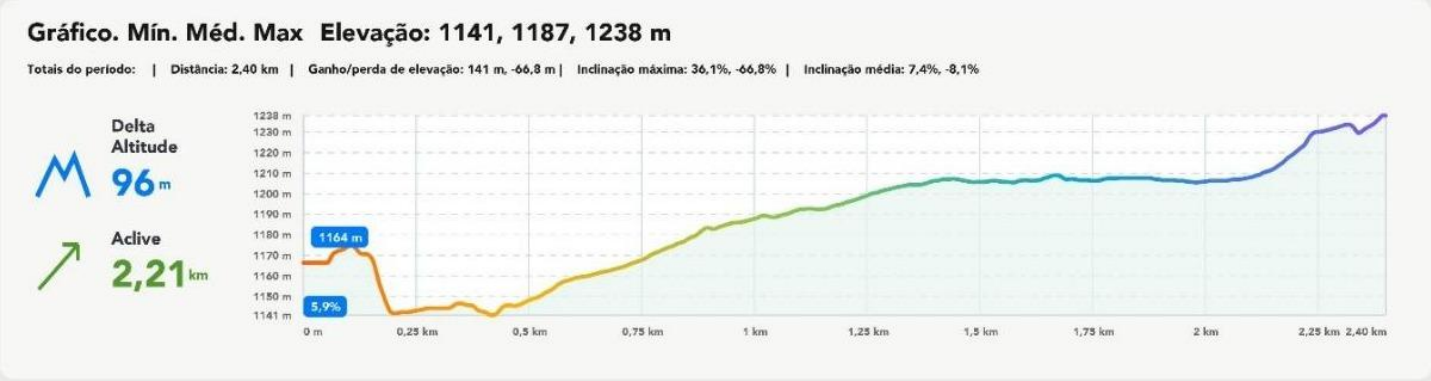
Leitura: torque desde a partida encurta o ciclo · 20 L/h × 15 kWh/h; 0,32 L/t × 0,16 kWh/t · emissões do piloto com suprimento pela rede (gerador só viabilizou o teste).

PILOTO

A topografia define a autonomia

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026





MAIOR EFICIÊNCIA · DECLIVE CARREGADO

> 4.000 km

de autonomia, com 361 h de operação sem recarga

MENOR EFICIÊNCIA · ACLIVE

~100 km

de autonomia, com recarga diária

Fonte: Google Earth Pro (GOOGLE, 2026), dados SRTM/ASTER.

ESCALA

Estação de Carregamento na rede e 10 elétricos

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

Mar–Mai/26 — **Piloto** 1 caminhão

Ago/26 — **10 elétricos** em operação

24/08/26 — **Estação na rede** fim do gerador

Nov/26 — **20 elétricos** substituindo 20 diesel

Rede CEMIG
MT 13,8 kV

→ **2 transformadores**
1.500 kVA · 13,8/0,44 kV

→ **Eletrocentro**
QGBT, aterramento, SPDA

→ **6 carregadores**
500 kW cada · 3 MW

→ **20 elétricos**
3,3 por carregador

R$ 1,52 M
investimento da 1ª fase

55 / 180 min
recarga / janela operacional

REC
energia renovável certificada desde 2021

BESS
2ª fase em estudo (emergência)

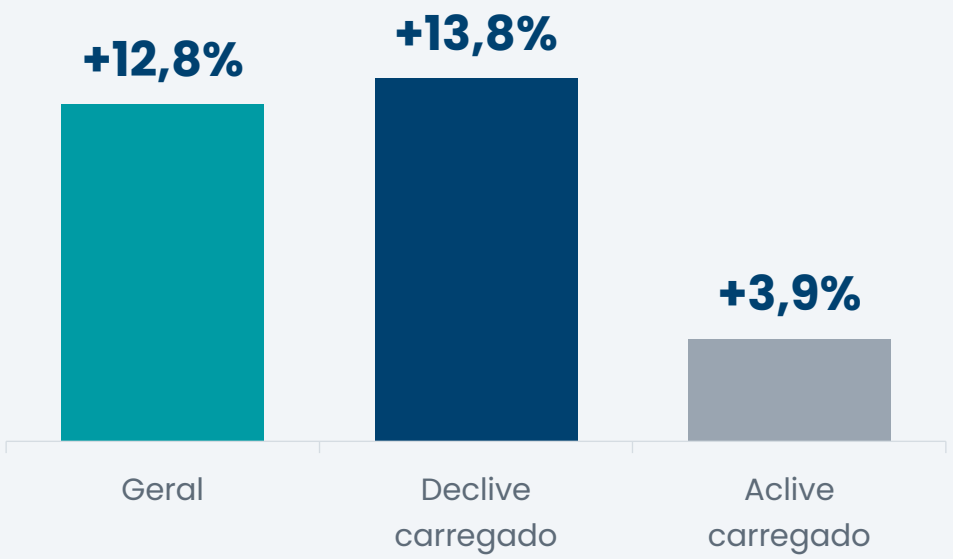
Saímos à frente: em 5 meses, do início do piloto à estação operante e 10 elétricos em produção. Não é projeto: é operação.

ESCALA

Em escala: +12,8% de produtividade, maior em declive

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

Ganho de produtividade: elétrico × diesel 44T



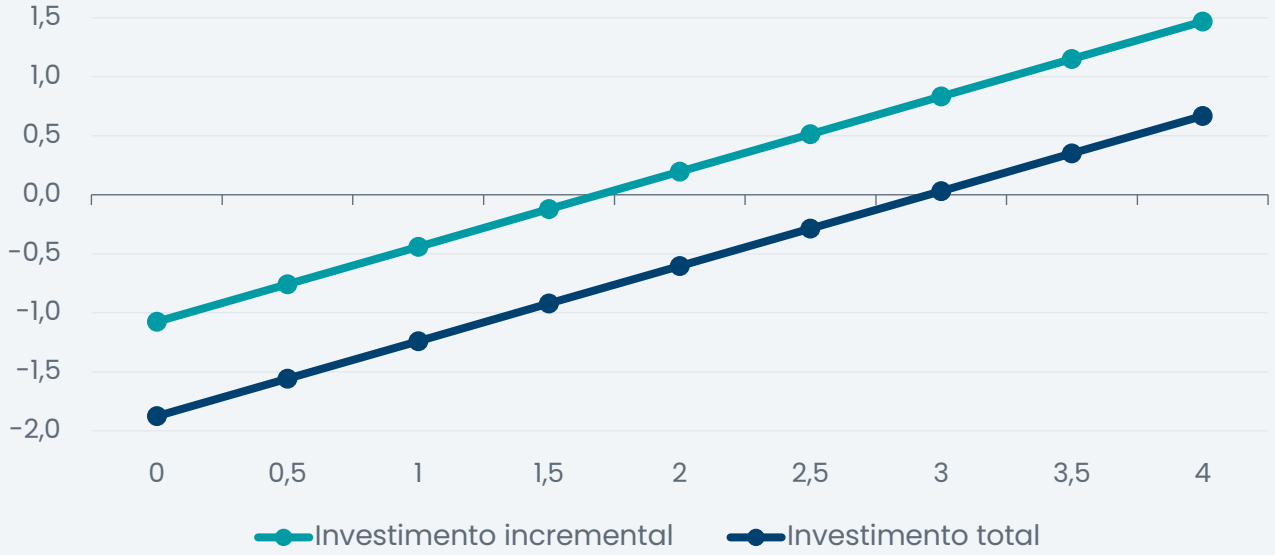
Indicador	Diesel 44T	Elétrico	Δ
Tempo de ciclo (min)	52,0	48,6	-6,6%
Velocidade carregado (km/h)	13,8	14,2	+2,8%
Velocidade vazio (km/h)	16,5	17,3	+4,8%
Massa por viagem (t)	44,9	47,6	+6,1%
Produtividade (t/h)	**58,8**	**66,3**	**+12,8%**

71% das combinações com elétrico mais produtivo

243 combinações pareadas (ago–set/26)

Alocação por rota: ganho consistente em escala e condicionado ao perfil: +22,4% na melhor rota de declive e -12,0% na de aclive carregado mais severa.

Payback de 1,7 ano sobre o investimento incremental



PAYBACK SIMPLES

1,7 ano

sobre o investimento incremental

2,9 anos

sobre o investimento total

−88,8%

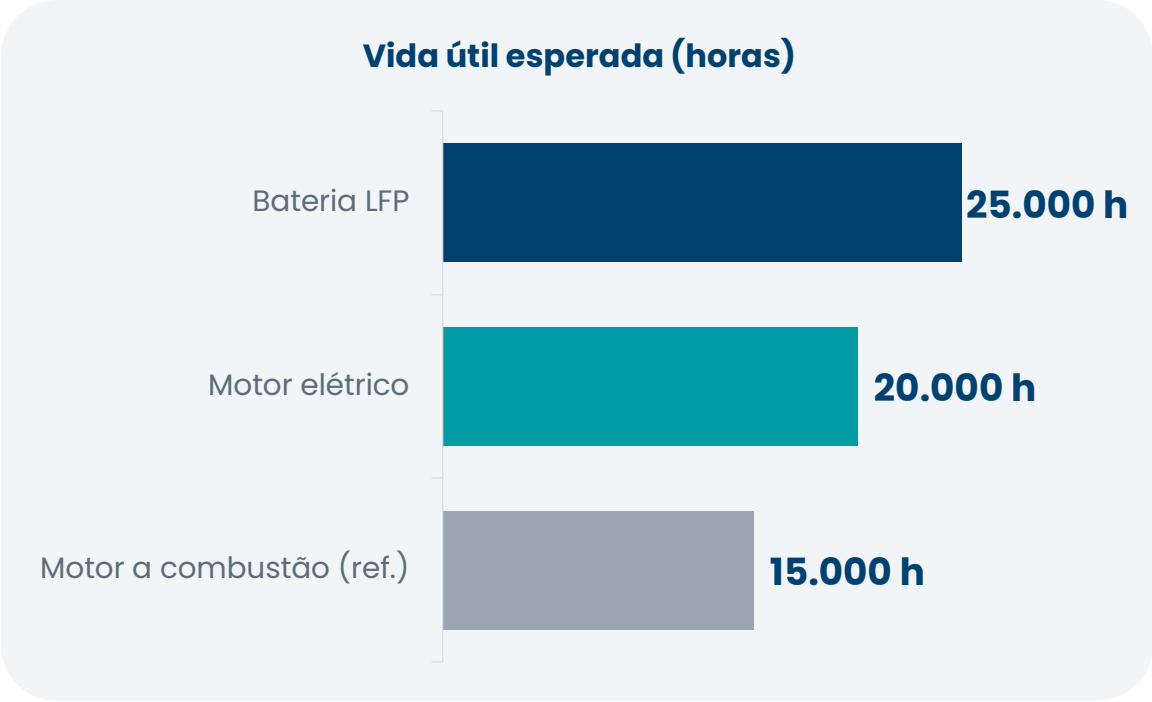
custo energético por t (R$ 1,98 → 0,22)

R$ 636 mil

economia por caminhão ao ano

Premissas (set/26): elétrico R$ 1,8 M × 8x4 diesel R$ 0,8 M + estação R$ 76 mil/CB · tarifa efetiva R$ 0,715/kWh · diesel R$ 6,62/L · conservador: sem manutenção e sem ganho de produtividade.

Vida útil e ganhos além do transporte



Manutenção

sem óleos do sistema de propulsão: menos trocas e intervenções

Suprimentos

peças via Irmen; caçamba integrada de fábrica

Meio ambiente

zero CO_2 no uso e menos resíduo oleoso

Pessoas

baixo ruído e mais conforto ao operador

Bateria: garantia de 25.000 h ou 5 anos, acima do payback; motor elétrico recondicionável.

Fonte: TSL (2026), com base em dados da fabricante Sany.

Como medimos: balanço de CO_2 de setembro/26



MEMÓRIA DE CÁLCULO

Escopo 1: massa dos elétricos × 0,298 L/t (44T, abastecimentos) × 2,68 kg CO_2/L

Escopo 2: 0,31 kWh/t medidos na estação, com perdas, × SIN 0,0385 t CO_2/MWh (conservador)

0,80 → 0,012

kg CO_2 por tonelada transportada

100%

pela visão market-based (REC)

Por que setembro: 1º mês completo com a estação na rede; até 24/08 parte das recargas ainda usou o gerador do teste.

DESTAQUE

Descarbonização efetiva, medida em operação

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

−98,5%

de CO_2 por tonelada transportada

frota elétrica na rede × diesel 44T · setembro/2026 · 100% pela visão market-based (REC)

237,8 t

de CO_2 evitadas em setembro/26

≈ 2,9 mil t

de CO_2 por ano com 10 elétricos

≈ 5,7 mil t

de CO_2 por ano projetadas com 20 elétricos

Anualização de setembro/26 (×12); projeção para 20 elétricos com o mesmo desempenho por caminhão. Fonte: Itaminas (2026).

Conclusão, aprendizados e próximos passos

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

Do 1º caminhão elétrico 8x4 em mina de ferro à frota em operação

−98,5%
CO_2 por tonelada (set/26)

+12,8%
produtividade em escala

−88,8%
custo energético por t

1,7 ano
payback incremental

Replicável em minas com despacho, considerando perfil altimétrico, sentido do transporte carregado, DMT e infraestrutura.

APRENDIZADOS

A rota decide o ganho
declive +13,8% × aclive +3,9%

Infraestrutura é condição
estação na rede viabilizou a escala

Gerir o estado de carga
SOC ~100% reduz a regeneração

Comparar com rigor
DF reflete a idade; pareamento isola

PRÓXIMOS PASSOS

1. **Nov/26**
   20 elétricos em operação
2. **Estação completa**
   carregadores restantes e BESS
3. **Alocação por rota**
   recarga e estado de carga
4. **TCO completo**
   bateria, demanda e manutenção

OBRIGADO!

Lais Ferreira Tavares
lais.tavares@itaminas.com.br

Guilherme Siqueira Ribeiro
guilherme.ribeiro@itaminas.com.br

João Paulo Moreira de Souza (TSL)
joaopaulo@tslsolucoes.com.br