Categoria Normas Técnicas
Eixo temático: Análise Química

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

APLICAÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA APOIO À DETERMINAÇÃO DA PPC E OTIMIZAÇÃO DO CONTROLE DE QUALIDADE QUÍMICA

CSN Mineração

Robson Aparecido Silva
Thalles César Teixeira Barbosa
Arthur Martins Souza da Cruz
Thaís Cristina Vieira da Silva

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO | BRAZILIAN MINING | MINERÍA DE BRASIL

PRÊMIO
BOAS PRÁTICAS
NA MINERAÇÃO
DO BRASIL 2026

A CSN

Mina Casa de Pedra, a mina em operação há mais tempo no Brasil

2ª Maior mina a céu aberto do Brasil
(Capacidade: +130 Mt/ano)

2 Plantas de Beneficiamento
(Capacidade: 32,5 Mt/ano)

Logística Integrada com a MRS
(Conectando Mina, Usina Siderúrgica e Porto)

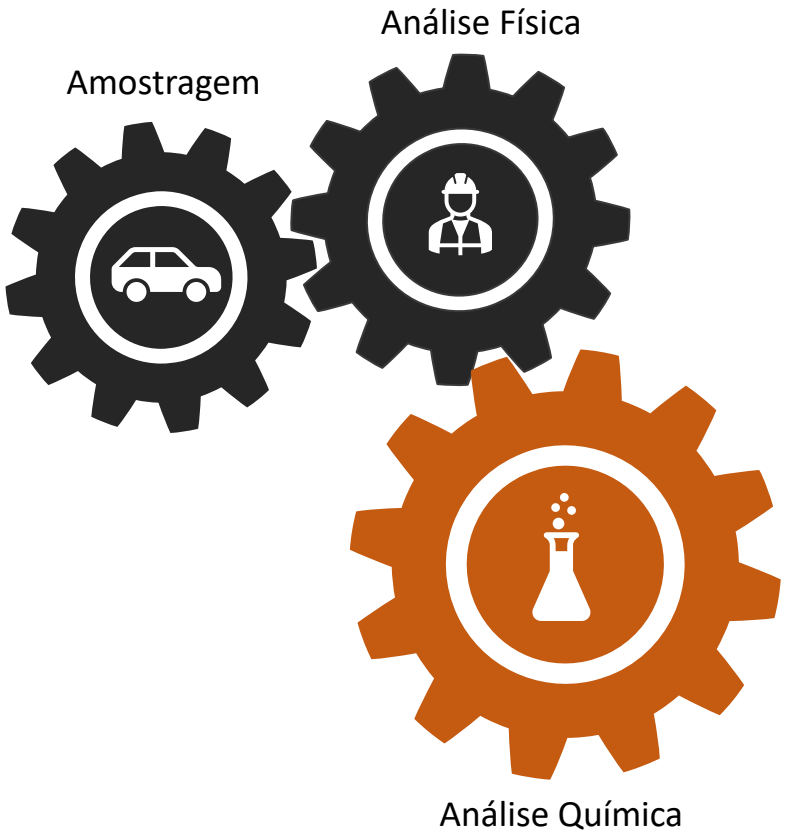
Terminal Portuário TECAR
(Capacidade: 45,0 Mt/ano)

3 Laboratórios Mineração
(49.487 ensaios analisados por mês)



O Problema

PPC (Perda por Calcinação) é a variação de massa do minério após aquecimento em alta temperatura, utilizada como parâmetro de caracterização e controle de qualidade.



PREPARAÇÃO FÍSICA AMOSTRAS
PELLET FEED - FILTRAGEM

(ISO 11536:2015)

FLUORESCÊNCIA DE RAIO X (FRX)

Fe | SiO_2 | Al_2O_3 | Mn | P | CaO | MgO | TiO_2

~10 Min.

❗ A disponibilização dos resultados químicos ao cliente interno fica condicionada à conclusão da PPC.

DETERMINAÇÃO DA PPC

PPC

~2 HORAS

ALTAS TEMPERATURAS

ATIVIDADE MANUAL

~360 AMOSTRAS/MÊS

~2 HORAS PARA LIBERAR O RESULTADO QUÍMICO DAS AMOSTRAS

Impacto no Processo

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026



Operação realiza ajuste no processo 7 horas

Amostra de 9 Horas (Amostra que vai capturar o ajuste realizado)

Amostra de 11 Horas

Amostra de 13 Horas

Amostra de 15 Horas

Previsão de liberação do resultado da amostra das 9h

4 HORAS SEM INFORMAÇÃO

ESTE PERÍODO REPRESENTA

16,7% DA PRODUÇÃO DO DIA

RESULTADO APÓS 4 HS DESDE QUE:

- **Não tenha corretiva equipamentos**
- **Não tenha necessidade de reanálise**

- Variação da Qualidade
- Menor assertividade na tomada de decisão
- Atraso na identificação de desvios
- Menor capacidade de correção

Objetivo

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

Utilizar Inteligência Artificial para predizer a PPC a partir dos resultados químicos já disponíveis (Fluorescência de raio x), reduzindo o tempo de resposta sem comprometer a confiabilidade e a rastreabilidade.

RESULTADOS FLUORESCÊNCIA DE RAIO X (FRX)

Fe	SiO_2	Al_2O_3	Mn	P	CaO	MgO	TiO_2

↓

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

↓

PPC PREDITO

↓

QUALIDADE QUÍMICA DISPONÍVEL PARA O CLIENTE

Fe	SiO_2	Al_2O_3	Mn	P	CaO	MgO	TiO_2	PPC PREDITO

DESDE QUE A SOLUÇÃO FOSSE:

1. Redução do tempo de análise
2. Resultados estatisticamente compatíveis com o método utilizado e validado conforme exigências ISO/IEC 17025:2017
3. Preservar a rastreabilidade e ser simples para utilização na rotina operacional
4. Reduzir a exposição dos analistas as altas temperaturas

O Desenvolvimento da IA

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

Fluxo de Desenvolvimento da Ferramenta

Banco de Dados

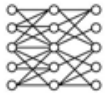
Tratamento dos Dados

Normalização (Scale)

Treinamento e Otimização



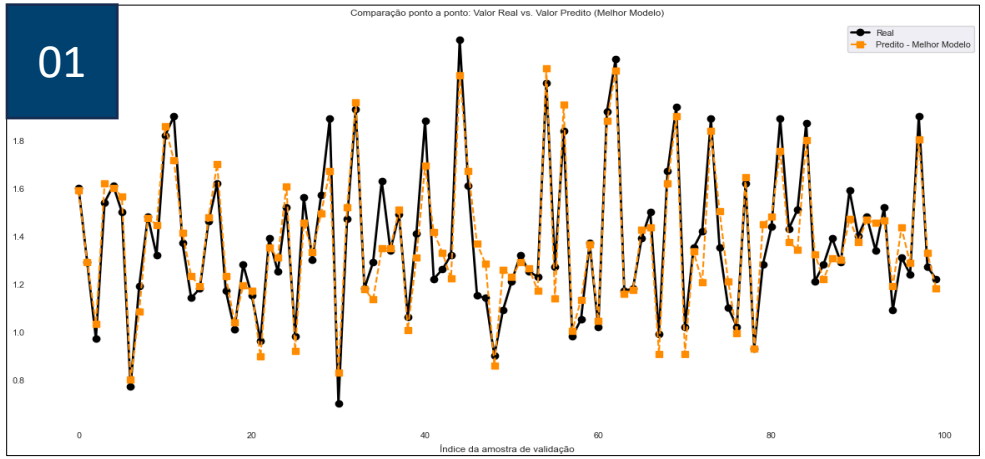
Avaliação do modelo em diferentes subconjuntos



Desenvolvimento da rede neural artificial

Validação Independente (258 amostras - não empregadas durante etapas de treinamento, calibração ou otimização do modelo)

01



02

Avaliação dos erros de predição
MAE: 0,084
RMSE: 0,117

03

Teste de distribuição normal (**Shapiro-WilK**, p= 0,060)

04

Teste t pareado
p = 0,142 > 0,05
Sem diferença estatística significativa

Validação realizada em alinhamento aos princípios de validação ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017

Aplicação Operacional

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

Modelo Validado

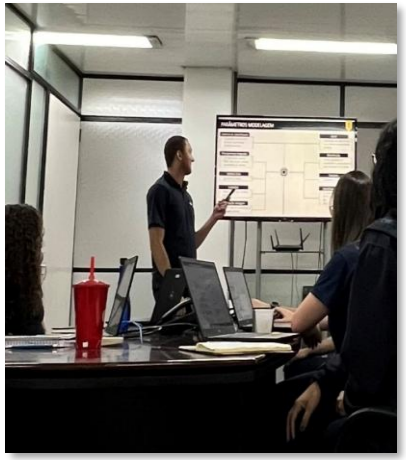
01 Alinhamento com o Cliente

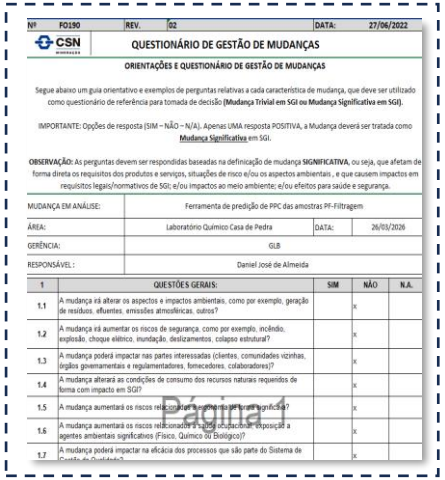
02 Gestão de Mudança

03 Revisão do Procedimento

04 Treinamento dos analistas

05 Controle de Qualidade





Nº FO190 | REV. 02 | DATA: 27/06/2022

CSN MINERAÇÃO

QUESTIONÁRIO DE GESTÃO DE MUDANÇAS

ORIENTAÇÕES E QUESTIONÁRIO DE GESTÃO DE MUDANÇAS

Segue abaixo um guia orientativo e exemplos de perguntas relativas a cada característica de mudança, que deve ser utilizado como questionário de referência para tomada de decisão **(Mudança Trivial em SGI ou Mudança Significativa em SGI).**

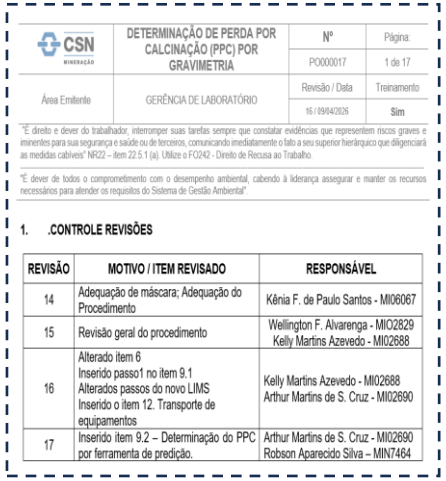
IMPORTANTE: Opções de resposta (SIM – NÃO – N/A). Apenas UMA resposta POSITIVA, a Mudança deverá ser tratada como **Mudança Significativa** em SGI.

OBSERVAÇÃO: As perguntas devem ser respondidas baseadas na definição de mudança **SIGNIFICATIVA**, ou seja, que afetam de forma direta os requisitos dos produtos e serviços, situações de risco e/ou os aspectos ambientais , e que causem impactos em requisitos legais/normativos de SGI; e/ou impactos ao meio ambiente; e/ou efeitos para saúde e segurança.

MUDANÇA EM ANÁLISE:	Ferramenta de predição de PPC das amostras PF-Filtragem
ÁREA:	Laboratório Químico Casa de Pedra
DATA:	26/03/2026
GERÊNCIA:	GLB
RESPONSÁVEL:	Daniel José de Almeida

	QUESTÕES GERAIS:	SIM	NÃO	N.A.
1.1	A mudança irá alterar os aspectos e impactos ambientais, como por exemplo, geração de resíduos, efluentes, emissões atmosféricas, outros?		x	
1.2	A mudança irá aumentar os riscos de segurança, como por exemplo, incêndio, explosão, choque elétrico, inundação, deslizamentos, colapso estrutural?		x	
1.3	A mudança poderá impactar nas partes interessadas (clientes, comunidades vizinhas, órgãos governamentais e regulamentadores, fornecedores, colaboradores)?		x	
1.4	A mudança alterará as condições de consumo dos recursos naturais requeridos de forma com impacto em SGI?		x	
1.5	A mudança aumentará os riscos relacionados à ocorrência de [illegible] significativa?		x	
1.6	A mudança aumentará os riscos relacionados à [illegible] exposição a agentes ambientais significativos (Físico, Químico ou Biológico)?		x	
1.7	A mudança poderá impactar na eficácia dos processos que são parte do Sistema de Gestão da Qualidade?		x	

Página 4



CSN MINERAÇÃO | DETERMINAÇÃO DE PERDA POR CALCINAÇÃO (PPC) POR GRAVIMETRIA | Nº P0000017 | Página: 1 de 17

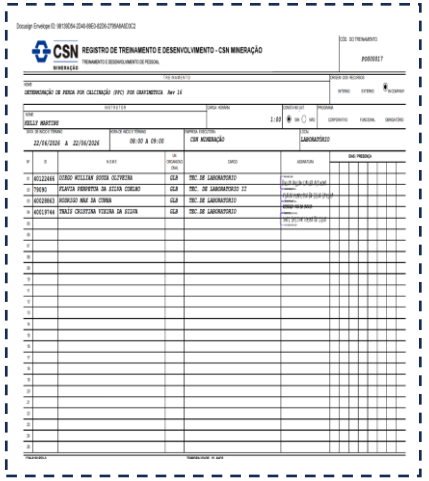
Área Emitente: GERÊNCIA DE LABORATÓRIO | Revisão / Data: 16 / 09/04/2026 | Treinamento: Sim

"É direito e dever do trabalhador, interromper suas tarefas sempre que constatar evidências que representem riscos graves e iminentes para sua segurança e saúde ou de terceiros, comunicando imediatamente o fato a seu superior hierárquico que diligenciará as medidas cabíveis" NR22 – item 22.5.1 (a). Utilize o FO242 - Direito de Recusa ao Trabalho.

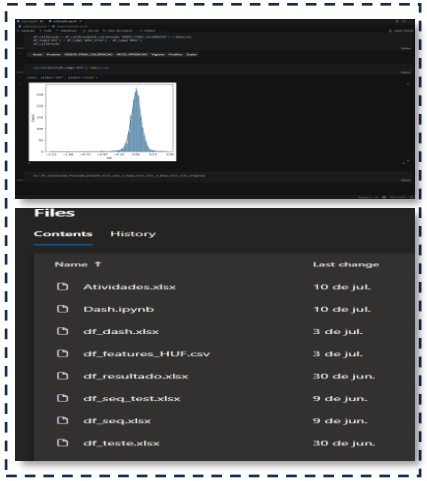
"É dever de todos o comprometimento com o desempenho ambiental, cabendo à liderança assegurar e manter os recursos necessários para atender os requisitos do Sistema de Gestão Ambiental".

1. .CONTROLE REVISÕES

REVISÃO	MOTIVO / ITEM REVISADO	RESPONSÁVEL
14	Adequação de máscara; Adequação do Procedimento	Kênia F. de Paulo Santos - MI06067
15	Revisão geral do procedimento	Wellington F. Alvarenga - MIO2829 Kelly Martins Azevedo - MI02688
16	Alterado item 6 Inserido passo1 no item 9.1 Alterados passos do novo LIMS Inserido o item 12. Transporte de equipamentos	Kelly Martins Azevedo - MI02688 Arthur Martins de S. Cruz - MI02690
17	Inserido item 9.2 – Determinação do PPC por ferramenta de predição.	Arthur Martins de S. Cruz - MI02690 Robson Aparecido Silva – MIN7464



CSN REGISTRO DE TREINAMENTO E DESENVOLVIMENTO - CSN MINERAÇÃO



Files

Contents History

Name	Last change
Atividades.xlsx	10 de jul.
Dash.ipynb	10 de jul.
df_dash.xlsx	3 de jul.
df_features_HUF.csv	3 de jul.
df_resultado.xlsx	30 de jun.
df_seq_test.xlsx	9 de jun.
df_seq.xlsx	9 de jun.
df_teste.xlsx	30 de jun.

INÍCIO → COMPUTADOR ATUALIZA DADOS → AVALIA OS DESVIOS

→ DESVIOS DENTRO DOS LIMITES → FIM

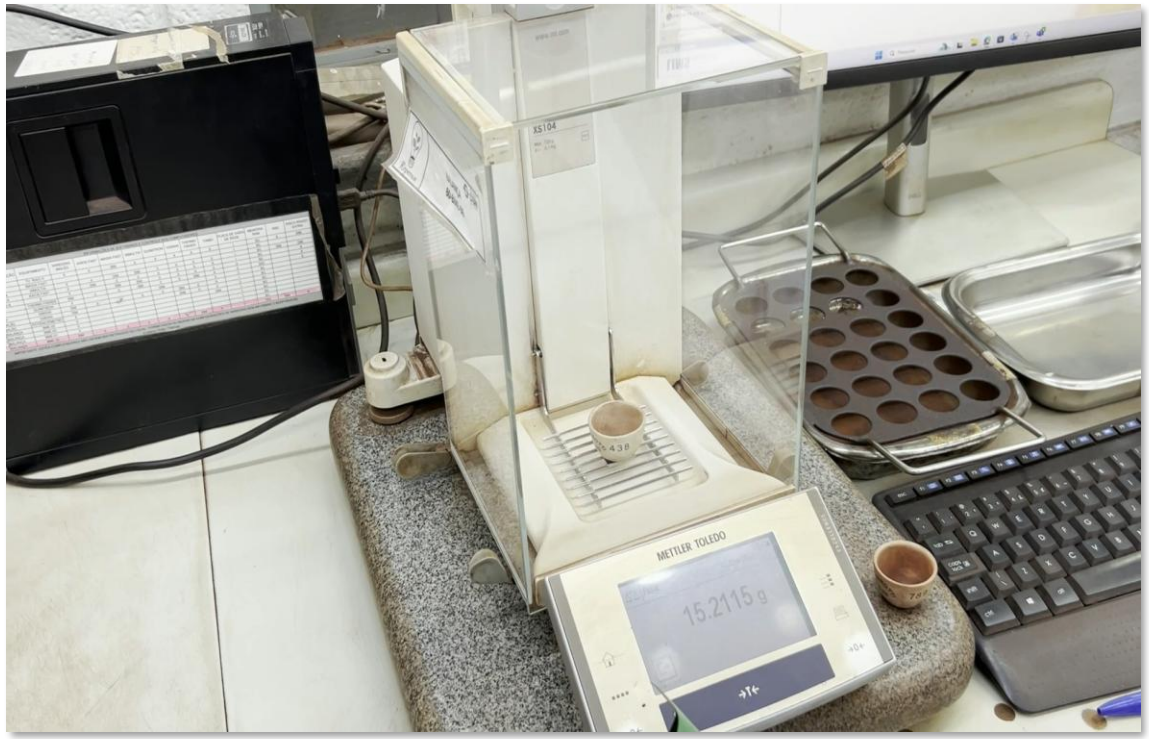
→ DESVIOS FORA DOS LIMITES → BLOQUEIA PREDITOR E RECALIBRA → FIM

FLUXO CONTROLE DE QUALIDADE

Comparativo Operacional

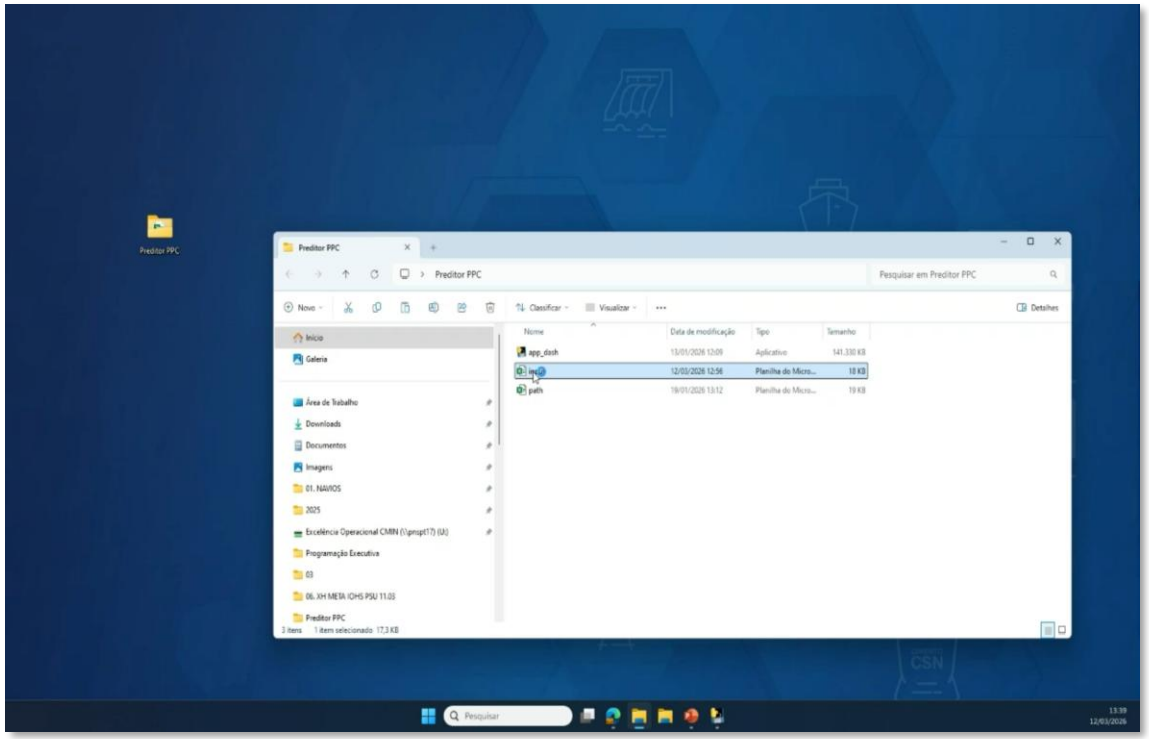
PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

OBTENÇÃO DA PPC DE FORMA CONVENCIONAL (*TT: 2h)



Pulverizar amostra **(10 min)** → Pesar amostra **(10 min)** → Estufa/Mufla **(60 min)** → Esfriar **(30 min)** → Pesar e lançar Resultados **(10 min)**

PREDITOR PPC EM OPERAÇÃO (*TT: 30s)



Entrada das 08 várias químicas **(20 segundos)** → Enviar dados à interface web **(5 segundos)** → Lançar resultados **(5 segundos)**

* TT: Tempo total

Resultados Alcançados

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

HORAS MENSAIS OTIMIZADAS

2h → 30 segundos

-180 Média mensal de análises convencionais substituídas(50%).

4.380 h

Horas otimizadas por Ano

MELHORIAS QUALITATIVAS

- ✓ Rastreabilidade das informações
- ✓ Redução do esforço manual
- ✓ Redução a exposição a altas temperaturas
- ✓ Redução no consumo de recipientes de papel
- ✓ Redução no consumo de energia elétrica
- ✓ Redução no desgaste de componentes

E o custo para desenvolvimento deste trabalho?

R$ 0,00

RECONHECIMENTO NA DIRETORIA E PÓDIO NO PROGRAMA DE MELHORIA DA CSN





Resultados Alcançados

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026



Operação faz ajuste no processo 7 horas da Manhã

Sem Preditor

Amostra de 9 Horas (Amostra que vai capturar o ajuste realizado)

Amostra de 11 Horas

Amostra de 13 Horas

Amostra de 15 Horas

Liberação da qualidade química prevista

Com Preditor

Liberação da qualidade química prevista

REDUÇÃO DA DEFASAGEM DA INFORMAÇÃO DE QUALIDADE: 4 H → 2 H

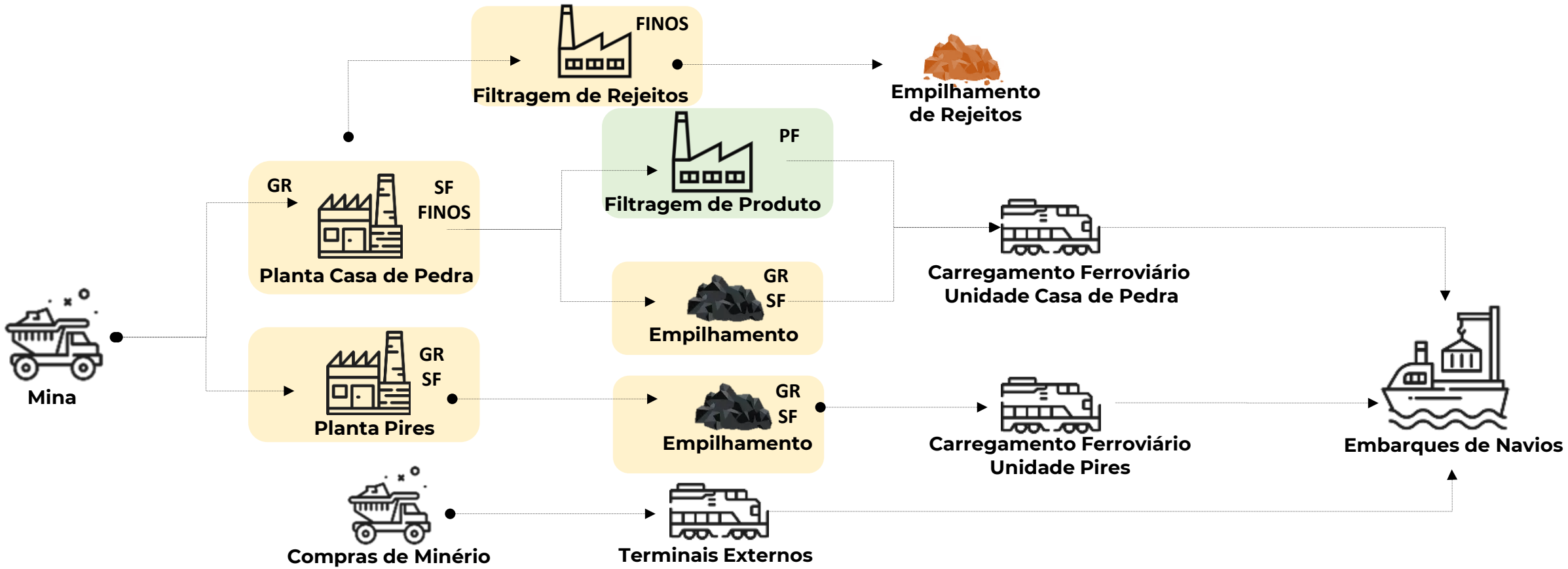
16,7% DA PRODUÇÃO SEM INFORMAÇÃO PARA 8,35%

MAIOR AGILIDADE NO CONTROLE DO PROCESSO

MAIOR CAPACIDADE DE ATUAÇÃO SOBRE DESVIOS

Legado e Aprendizados

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026



SF: Sinter Feed **PF:** Pellet Feed **GR**: Granulado **FINOS:** Amostras de polpa de flotação

Legado e Aprendizados

PRÊMIO BOAS PRÁTICAS NA MINERAÇÃO DO BRASIL 2026

PRÓXIMOS PASSOS

- 5 PROCESSOS NA MINERAÇÃO
- ~20 AMOSTRAS
- QUALQUER LABORATÓRIO QUE ANÁLISE PPC

E quais foram os aprendizados com este trabalho?

- Qualidade dos dados é tão importante quanto o algoritmo.
- Implantação gradual aumenta a confiança na solução
- Participação dos analistas desde o desenvolvimento facilita a implantação.

INOVAÇÃO **QUALIDADE** **PRODUTIVIDADE** **SEGURANÇA**

IBRAM | 50
MINERAÇÃO DO BRASIL | ANOS

OBRIGADO!

Robson: robson.aparecido@csn.com.br
Thalles: thalles.barbosa@csn.com.br
Arthur: arthur.cruz@csn.com.br
Thais: thais.silva.ts1@csn.com.br