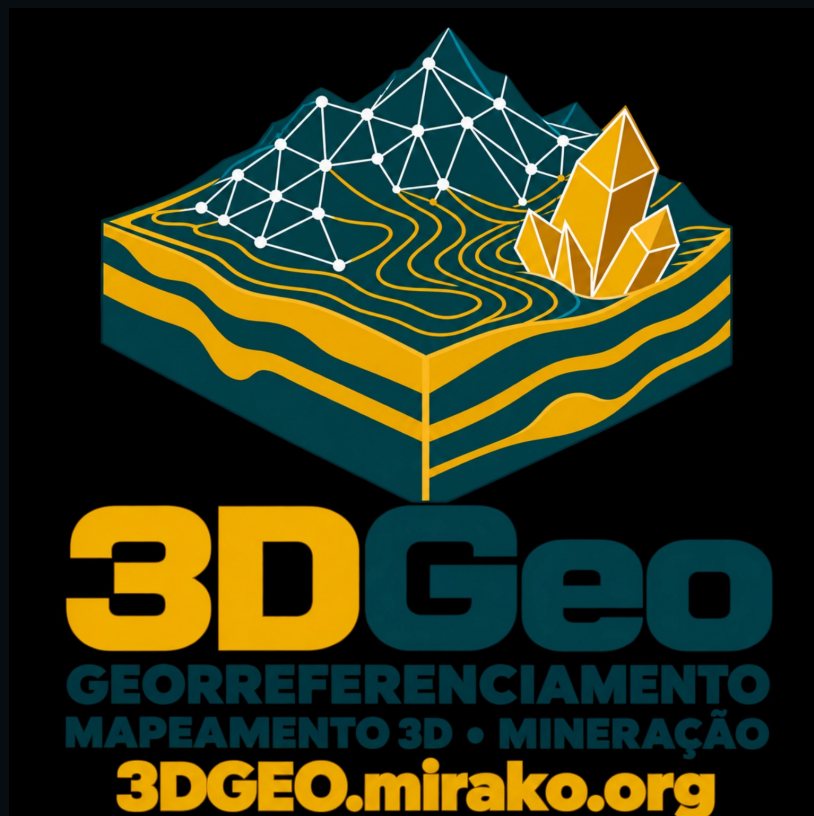




MANUAL DA PLANTA PILOTO DE LIXIVIAÇÃO

Ouro em minério moído | 1 tonelada seca por dia

Conceitos, engenharia, montagem e comissionamento
Do recebimento do minério à coleta e ao ensaio do doré

CACHOEIRA DO PIRIÁ - PA | CONTEXTO DO CINTURÃO GURUPI

Revisão 01 • 1 de outubro de 2026

Pré-projeto e manual de desenvolvimento. Não é projeto executivo.

Sumário e uso do documento

Este manual consolida a proposta discutida para minério de filão já moído. A capacidade de referência é **1.000 kg de sólidos secos por dia**. A rota-base é lixiviação alcalina com cianeto e recuperação em carvão ativado, comparando CIL e CIP em bateladas. A gravimetria permanece como módulo opcional, decidido pelos ensaios.

Como usar: os cálculos e desenhos são uma base para desenvolver o piloto. Antes da operação química, converter os resultados dos ensaios em folhas de operação aprovadas e concluir os projetos mecânico, elétrico, civil e de segurança. O documento não atribui responsabilidade técnica a um profissional nem certifica uma instalação.

01. Objetivo, limites e entregáveis	3	18. Sequência de operação de uma batelada	20
02. Os conceitos que organizam a planta	4	19. Gravimetria e comparação CIL/CIP	21
03. Comparação das sete rotas	5	20. Eluição: do carvão à solução rica	22
04. O que a evidência do Gurupi permite	6	21. Eletrodeposição e coleta do depósito	23
05. Caracterização e amostragem	7	22. Doré, ensaio e coleta do ouro final	24
06. Programa de ensaios e avanço de escala	8	23. Água, resíduos e tratamento	25
07. Fluxograma da planta de referência	9	24. Implantação, contenção e utilidades	26
08. Balanço da carga e volume de polpa	10	25. Montagem e comissionamento	27
09. Capacidade, ciclo e três reatores	11	26. Balanço de ouro e qualidade do resultado	28
10. Reator: geometria e folha de dados	12	27. Manutenção e diagnóstico de desvios	29
11. Agitação, suspensão e oxigênio	13	28. Desempenho, custos e decisão de expansão	30
12. Materiais, bocais e lista de equipamentos	14	29. Segurança e pacote de engenharia	31
13. Bombas, tubulações e descarga	15	30. Ficha de batelada e histórico	32
14. Carvão, peneira e lavagem	16	31. Registro de amostras e custódia	33
15. Instrumentação e intertravamentos	17	32. Compras, aceite e campos pendentes	34
16. Química da lixiviação	18	33. Referências técnicas e científicas	35
17. Unidades, reagentes e folha de operação	19	34. Referências e rastreabilidade	36

BASE DO PROJETO / 01

01. Objetivo, limites e entregáveis

O piloto deve demonstrar, com balanço de massa e ouro, se a rota produz recuperação repetível e quanto custa tratar o minério. A finalidade não é apenas dissolver ouro: é transportar o metal da alimentação até um produto pesado, analisado e rastreável, registrando os estoques intermediários.

Definição	Base adotada
Alimentação	Minério moído; caracterização ainda necessária. Sem incorporar etapas ou equipamentos fora do escopo atual.
Capacidade	1 t seca/dia como objetivo de produção. Umidade e água da polpa não entram nessa tonelada.
Configuração	Três reatores alternados, cada um recebendo uma carga de 1 t seca. Não são três tanques em cascata contínua.
Rota principal	Cianetação alcalina agitada + carvão. Ensaios determinam a preferência CIL ou CIP.
Produto	Carvão carregado como intermediário; ouro metálico/doré após eluição, eletrodeposição e acabamento.
Status	Dimensões preliminares; consumos, tempos, materiais, potência e recuperação sem validação no minério atual.

O que precisa existir no encerramento da campanha

Relatório de caracterização; curvas de extração e adsorção; consumo medido de reagentes; inventário de água e carvão; recuperação global; composição do produto; resíduos analisados; histórico de falhas; disponibilidade real; custos e recomendação de continuidade. Cada resultado deve apontar a amostra, o lote e o método analítico.

Três documentos diferentes: este manual explica o desenvolvimento; o projeto executivo define como construir; a folha de operação validada define como operar cada tipo de minério.

02. Os conceitos que organizam a planta

Etapa			O que acontece	Como verificar
Liberação			A moagem expõe ouro antes encerrado nos minerais. Não basta o material parecer uma areia fina.	Distribuição granulométrica e mineralogia.
Gravimetria			Concentra partículas densas e ouro livre. Não dissolve o metal.	Massa e teor de concentrado e rejeito.
Lixiviação			Ouro acessível passa do sólido para a solução como complexo.	Teor residual e balanço de ouro.
Adsorção			Carvão recebe ouro dissolvido da solução. Não é precipitação metálica.	Ouro em solução e carga no carvão.
Eluição			Ouro sai do carvão para uma solução mais concentrada.	Carga do carvão antes/depois e solução.
Eletrodeposição			O complexo é reduzido e forma metal no cátodo.	Solução, depósito e energia elétrica.
Acabamento			Depósito é processado em unidade apropriada para obter produto metálico.	Massa, ensaio e perdas contabilizadas.

O **P80** é a abertura pela qual passa 80% da massa do minério. Ele não informa sozinho o tamanho máximo nem a quantidade de ultrafinos. Para agitação, bombas e peneiras, também importam os extremos da distribuição e a forma das partículas.

Um minério pode ter ouro livre, ouro fino exposto e ouro encerrado em sulfetos. Esses comportamentos exigem ensaios distintos. Aumentar tempo, agitação ou reagente não resolve necessariamente o ouro fisicamente inacessível.

Extração química, captura no carvão e recuperação no produto final são indicadores diferentes. Uma baixa concentração de ouro na solução pode significar adsorção eficaz, e não ausência de lixiviação.

SELEÇÃO DE PROCESSO / 03

03. Comparação das sete rotas

Rota	Arranjo e aplicação	Decisão para este piloto
Cianetação + CIL	Lixiviação e adsorção na mesma polpa. Rota industrial.	Candidata principal; ensaiar cinética e competição do carvão.
Cianetação + CIP	Lixivia primeiro; acrescenta a etapa de adsorção depois. Rota industrial.	Alternativa nos mesmos reatores, em fases de batelada.
Pilha + colunas de carvão	Percolação do leito; carvão trata solução drenada.	Não adotar por analogia: minério fino precisa demonstrar permeabilidade.
VAT	Percolação em leito confinado em tanque.	Somente se ensaios demonstrarem fluxo, distribuição e lavagem adequados.
Merrill-Crowe	Clarificação, desaeração e precipitação com zinco.	Comparar se prata, solução e separação sólido/líquido justificarem.
Tiossulfato + resina	Química e resina próprias; há aplicação comercial.	Programa separado de desenvolvimento; não substituir reagente mantendo o circuito.
Glicina + cianeto	Rotas como GlyCat têm tecnologia comercial proprietária.	Avaliação específica com fornecedor; continua usando cianeto.

A comparação deve considerar toda a rota: preparação, lixiviação, recuperação, reciclo, resíduos e produto. Uma alternativa com menor consumo em um ensaio pode demandar mais etapas ou gerar outro problema de tratamento. Fontes em inglês, francês e espanhol ajudam a identificar essas diferenças; não estabelecem uma receita para este minério. [1, 12-16]

Critério inicial

Como o material já está moído, a proposta prioriza tanques agitados. CIL e CIP podem ser comparados sem construir pilhas ou leitos estáticos. A configuração em batelada permite medir cinética e consumo, mas não reproduz automaticamente uma instalação contínua com carvão em contracorrente.

BASE CIENTÍFICA / 04

04. O que a evidência do Gurupi permite

A documentação histórica de Cachoeira descreve programas que avaliaram gravimetria, flotação e cianetação em materiais diferentes. Para amostras investigadas, cianetação isolada ou associada à gravimetria foi considerada promissora. Os resultados variaram entre campanhas e tipos de minério. Isso fundamenta a escolha de uma rota para testar, sem garantir a recuperação do filão atual. [2]

Referência regional	Evidência	Limite de interpretação
Cachoeira - documento de 2018	Relata ensaios históricos e recomendações metalúrgicas.	Resultados de amostras; não comprova desempenho desta planta ou deste lote.
Aurizona - relato de engenharia	A expansão descreve conversão de CIL para arranjo híbrido de lixiviação/CIP.	Exemplo industrial regional; não é especificação para Cachoeira.
CentroGold - PFS de 2019	Propôs gravimetria, flotação e CIL do concentrado.	Fluxograma de estudo; não equivale a lixiviar todo o minério atual.
Geologia de Chega Tudo	Estudo descreve diferenças na associação do ouro aos minerais.	Estar no mesmo cinturão não garante igual resposta metalúrgica.

Essas fontes sustentam a presença de rotas com cianetação e gravimetria no contexto regional, mas não oferecem um levantamento estatístico de todas as plantas do cinturão. Evitar afirmar que uma configuração é “a mais usada” sem esse inventário. [3-5]

Aplicação ao projeto

Separar lotes por origem geológica e comportamento. Se a extração for baixa, investigar liberação, associação mineral, consumo químico e transferência de oxigênio antes de ampliar equipamentos. Ensaios de gravimetria devem medir o ganho efetivo e as perdas, inclusive do concentrado.

Não somar percentuais obtidos em testes independentes. Recuperações combinadas exigem um balanço sequencial do mesmo fluxograma.

ANTES DE DIMENSIONAR / 05

05. Caracterização e amostragem

Dado	Trabalho necessário	Decisão que afeta
Ouro e prata	Ensaio ao fogo com controle de qualidade; método para ouro grosso quando indicado.	Massa de ouro esperada, receita e recuperação.
Umidade	Amostra representativa e determinação gravimétrica.	Carga seca, água adicional e capacidade.
Granulometria	P80, tamanho máximo, frações finas e distribuição completa.	Moagem, suspensão, peneira e bombas.
Mineralogia	Ouro livre/encerrado; minerais sulfetados e materiais que adsorvem ouro.	Gravimetria, leachabilidade e necessidade de outra rota.
Densidade e reologia	Densidade real; polpa em diferentes teores de sólidos.	Volume, torque, potência e transporte.
Química do minério	Cobre, enxofre e componentes relevantes à matriz.	Consumo de reagentes e tratamento de resíduos.
Água	pH, alcalinidade, sais e contaminantes; testar água de reúso.	Química, incrustação e estabilidade entre ciclos.

Como preparar um lote de ensaio confiável

Definir a população representada: frente, filão, profundidade e período de coleta. Coletar incrementos ao longo do lote, compor e homogeneizar sem perder finos. Usar divisor apropriado; não retirar apenas uma pá da superfície. Guardar amostra testemunha lacrada e registrar todas as divisões.

Se houver efeito pepita, pequenas alíquotas podem dar teores muito diferentes. O laboratório deve justificar massa de amostra e método. Duplicatas, padrões certificados e brancos ajudam a distinguir variação real de erro analítico. A amostra de cabeça deve representar a mesma carga que entra no reator.

Um lote de 1 t não transforma uma amostra mal coletada em evidência representativa. Definir o plano de amostragem antes de movimentar o minério.

DESENVOLVIMENTO / 06

06. Programa de ensaios e avanço de escala

Fase	Objetivo	Condição para avançar
Bancada	Comparar moagem, sólidos, CIL/CIP, consumo e cinética. Incluir duplicatas e água de processo.	Curvas reprodutíveis e fechamento analítico explicado.
Gravimetria	Medir distribuição do ouro e possibilidade de retirar ouro livre antes da lixiviação.	Ganho global demonstrado, incluindo tratamento do concentrado.
Piloto de 100 kg	Verificar suspensão, ar, peneiramento, lavagem e coleta em escala intermediária.	Descarga confiável e ouro contabilizado em todas as correntes.
Primeira carga de 1 t	Validar hidráulica, instrumentação e sequência de operação.	Resultados dentro das faixas estabelecidas em bancada.
Campanha escalonada	Testar vários ciclos, reúso de água e carvão, falhas e disponibilidade.	Recuperação e consumos estáveis; inventários reconciliados.

O piloto de 100 kg é uma etapa de validação, não uma garantia de que uma carga única represente toda a jazida. Como o minério já está moído, um teste gravimétrico deve refletir essa condição; não reconstruir artificialmente uma distribuição de ouro grosso perdida na moagem. [11]

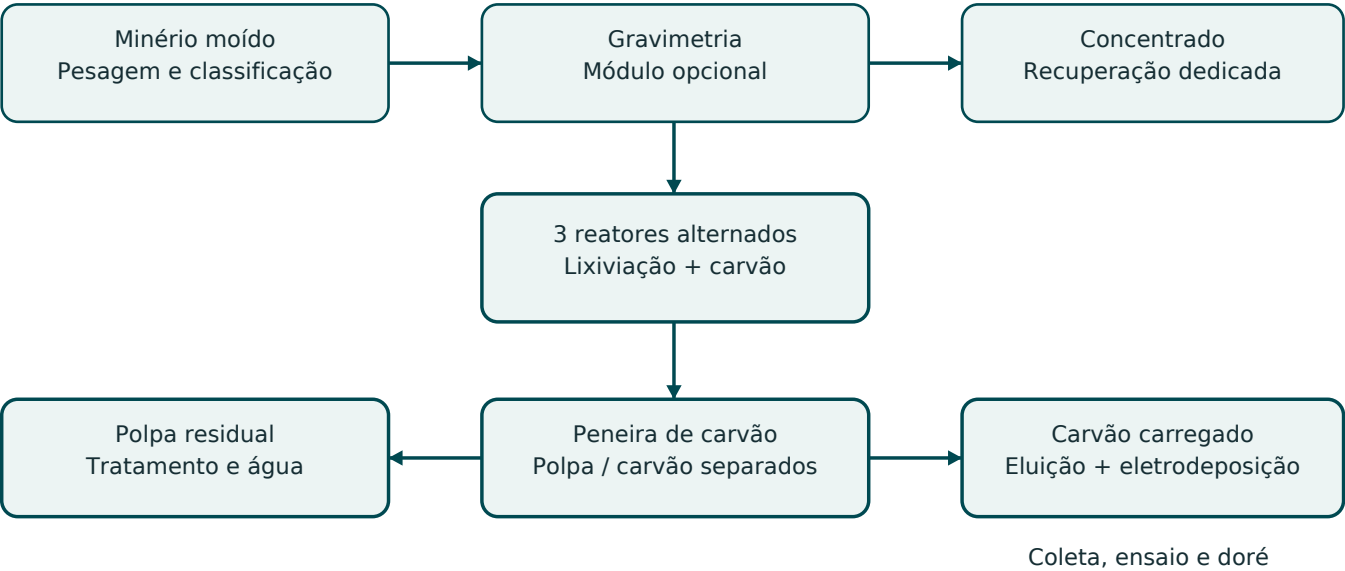
Matriz mínima proposta ao laboratório

Comparar amostras independentes equivalentes em duas configurações de carvão e em condições de moagem e polpa tecnicamente justificadas. Registrar extração ao longo do tempo, ouro em solução e carvão, residual de cianeto, demanda de alcalinizante e oxigênio. Escolher pontos de coleta suficientes para identificar o patamar de extração e o custo do tempo adicional.

Definir ensaios de resíduos em paralelo. A rota só avança se existir tratamento demonstrado para a polpa e a água produzidas. Não reutilizar minério já lixiviado como se fosse uma nova amostra de alimentação para comparar rotas.

VISÃO DO PROCESSO / 07

07. Fluxograma da planta de referência



O fluxo começa na pesagem do minério moído e no ajuste de água da carga. Se aprovado pelos ensaios, um módulo gravimétrico retira concentrado e envia o restante à lixiviação. Os reatores trabalham alternadamente: carga, condicionamento, lixiviação/adsorção, descarga e preparação para nova carga.

Na rota CIL, o carvão está presente durante a lixiviação. Na comparação CIP em batelada, primeiro se desenvolve a fase de lixiviação e depois a de adsorção. O tempo total deve contabilizar ambas. A peneira separa o carvão da polpa e a lavagem controlada recupera polpa aderida sem lançar água fora do balanço.

Corrente	Destino obrigatório
Carvão carregado	Lote identificado para eluição própria ou serviço contratado; retorno condicionado por análise.
Polpa descarregada	Tanque de coleta; tratamento validado; separação e destino definidos.
Lavagens e finos de carvão	Coleta identificada, análise e recuperação compatível.
Concentrado gravimétrico	Circuito dedicado definido pelos ensaios; contabilizado separadamente.

A recuperação final pode ser realizada em módulo contratado. Isso reduz a necessidade inicial de instalar eluição e forno, mas exige rastrear massa, teor, perdas e estoques até o ouro final.

08. Balanço da carga e volume de polpa

Adotar, apenas para calcular volumes, densidade real do sólido de 2.650 kg/m³ e água de 1.000 kg/m³. Confirmar em laboratório. Considerar volumes aditivos nesta estimativa; carvão, gás, espuma, reagentes e variações operacionais exigem margem própria.

Equações: $M_{\text{água}} = M_{\text{seca}} \times (1 - C_s) / C_s$
 $V_{\text{polpa}} \approx M_{\text{seca}} / \rho_{\text{sólido}} + M_{\text{água}} / \rho_{\text{água}}$
 $\rho_{\text{polpa}} \approx (M_{\text{seca}} + M_{\text{água}}) / V_{\text{polpa}}$
 C_s é a fração mássica de sólidos: 40% = 0,40.

Sólidos em massa	Água por 1 t seca	Volume estimado	Tanque a 75% ocupado
30%	2.333 kg	2,711 m³	3,614 m³
40%	1.500 kg	1,877 m³	2,503 m³
50%	1.000 kg	1,377 m³	1,836 m³

Na base de 40%, cada carga contém 2.500 kg de polpa, com densidade estimada de 1.331 kg/m³. Um reator geométrico próximo de 3 m³ é uma opção para estudar essa condição. Se os ensaios exigirem 30% de sólidos, essa mesma carga poderá ultrapassar a ocupação planejada: aumentar volume ou reduzir massa por carga.

Descontar a água que chega com o minério

Com umidade u na base úmida: $M_{\text{úmida}} = M_{\text{seca}} / (1 - u)$. Para $u = 5\%$, a carga de 1.000 kg secos exige 1.052,6 kg de minério úmido, trazendo 52,6 kg de água. A água adicional até 40% de sólidos seria aproximadamente 1.447,4 kg, antes dos outros líquidos do circuito.

A água de 1.500 kg é inventário da carga, não consumo diário inevitável de água nova. O consumo novo depende do reciclo, da umidade retida nos resíduos, das lavagens, perdas e qualidade requerida.

PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO / 09

09. Capacidade, ciclo e três reatores

Capacidade de batelada depende do ciclo completo, incluindo carga, condicionamento, reação, adsorção quando separada, descarga, limpeza, análise e liberação. Uma tonelada por carga não significa automaticamente uma tonelada por dia.

Capacidade nominal: $Q = n \times M_{\text{carga}} \times 24 / t_{\text{ciclo}}$
Capacidade efetiva: $Q_{\text{ef}} = Q \times \text{disponibilidade}$
 n = reatores; M_{carga} em t secas; t_{ciclo} em horas.

Configuração	Ciclo	Nominal	A 90% disponível
2 x 1 t/carga	48 h	1,00 t/d	0,90 t/d
3 x 1 t/carga	48 h	1,50 t/d	1,35 t/d
3 x 1 t/carga	60 h	1,20 t/d	1,08 t/d
3 x 1 t/carga	72 h	1,00 t/d	0,90 t/d

Programação preliminar

Iniciar R-101 no dia 1, R-102 no dia 2 e R-103 no dia 3. Voltar a R-101 no dia 4 somente se o ciclo estiver encerrado e houver liberação. O intervalo diário de partida exige ciclo de até 72 h em disponibilidade ideal. Com uma premissa de 90% e meta efetiva de 1 t/d, o ciclo médio máximo calculado é 64,8 h.

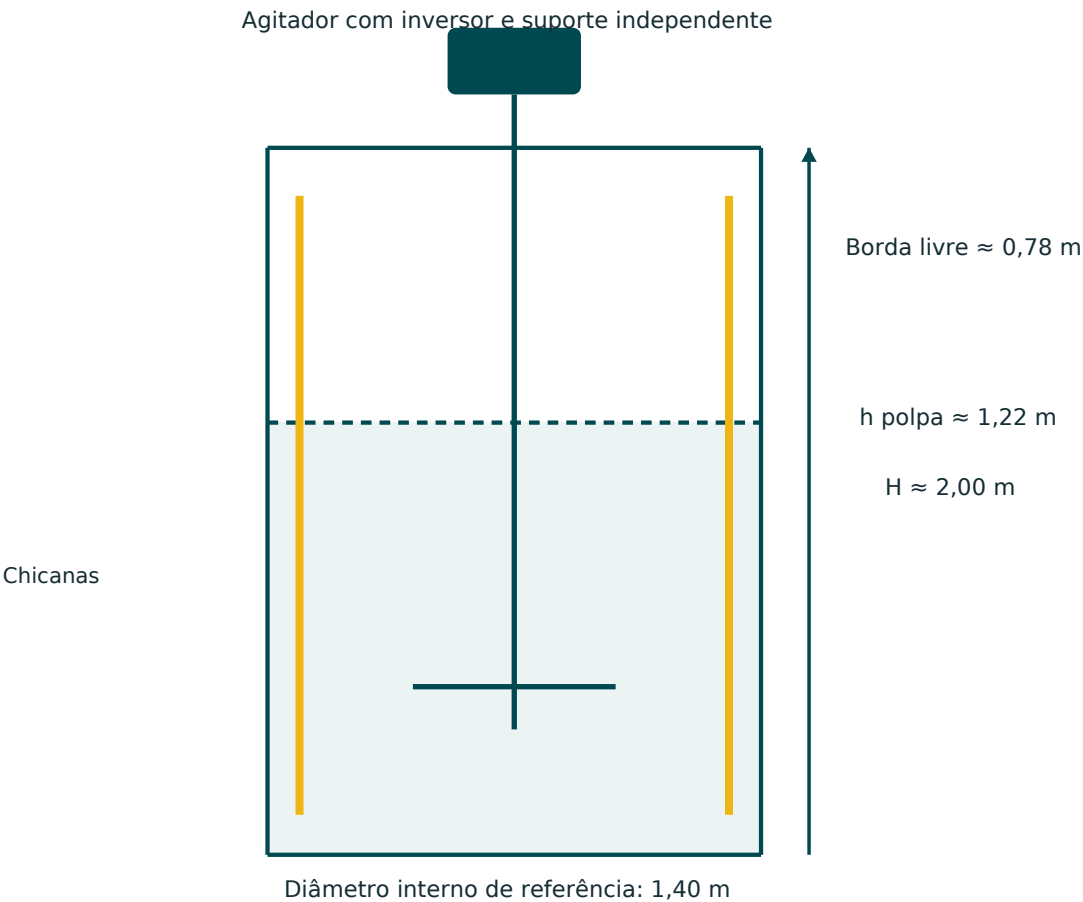
A margem pode absorver indisponibilidade, mas deve ser confrontada com a duração real das operações auxiliares e com recursos compartilhados. Uma única peneira, equipe ou unidade de tratamento pode limitar a planta mesmo com tanques disponíveis.

Comparação com um circuito contínuo

A vazão média equivalente, em 24 h, seria 41,67 kg secos/h e cerca de 0,0782 m³ de polpa/h a 40%. O volume $V = Q_{\text{vol}} \times \text{tempo}$ serve para estudar residência contínua. Não dimensiona a descarga rápida de uma batelada nem garante a mesma cinética em uma cascata.

EQUIPAMENTOS / 10

10. Reator: geometria e folha de dados



Item	Base preliminar / verificação
Volume cilíndrico	$D = 1,40$ m; $H = 2,00$ m: $V = \pi D^2 H / 4 \approx 3,079$ m ³ . A forma final do fundo altera o volume.
Nível da carga	1,877 m ³ correspondem a cerca de 1,22 m em fundo plano; conferir deslocamentos e gás.
Pressão e acesso	Reator atmosférico, com cobertura contra respingos e ventilação projetada. Não vedar um tanque aerado sem alívio adequado.
Desenho executivo	Espessura, fundo, bocais, suportes, soldas, vedação, cargas dinâmicas e inspeção definidos pelo projetista.

Esquema conceitual, sem escala de fabricação. Não especifica eixo, espessuras, soldas ou posições finais dos bocais. O fornecedor deve calcular a estrutura e a operação com polpa aerada.

11. Agitação, suspensão e oxigênio

O agitador deve manter os sólidos suficientemente suspensos, dispersar o oxidante e permitir amostragem representativa. A potência necessária muda com granulometria, viscosidade, teor de sólidos, geometria, gás e presença de carvão. O volume do tanque, sozinho, não seleciona motor e redutor. A documentação de fabricantes distingue suspensão de sólidos e dispersão de gás. [8]

Especificar ao fornecedor	Por que importa
Distribuição de partículas e densidades	Controla a sedimentação e a velocidade mínima de suspensão.
Reologia em 30%, 40% e 50%	Polpa densa pode exigir torque maior e ter zonas pouco misturadas.
Faixa de nível e alimentação de gás	O impelidor precisa funcionar nos níveis operacionais e sob aeração.
Carvão: tamanho, resistência e inventário	Agitação excessiva pode causar atrito e perdas de finos.
Partida, paradas e manutenção	Repartida com leito sedimentado pode sobrecarregar eixo, motor e redutor.
Dados de desempenho	Curvas de potência, torque, rotação, mistura e garantia de suspensão.

Base apenas para orçamento

Para o tanque de referência, estudar impelidor axial da ordem de 0,50-0,60 m e quatro chicanas. Uma faixa de motor de 1,5-3 kW pode iniciar consultas comerciais, mas não é uma especificação liberada. O fornecedor deve confirmar potência, rotação, torque, velocidade crítica do eixo e resistência do conjunto.

Em regime turbulento idealizado, $P = N_p \times \rho \times N^3 \times D^5$; N em rotações por segundo. O número de potência depende do impelidor e do regime. Isso mostra por que copiar rotação de uma bancada não é critério de escala. Polpas não newtonianas e gás demandam correções e ensaios.

Comissionar a mistura com água e depois com sólidos sem reagente. Mapear concentração em diferentes alturas, sedimentação e corrente do motor. Não religar automaticamente um agitador com carga sedimentada.

AQUISIÇÃO / 12

12. Materiais, bocais e lista de equipamentos

Tag / quantidade	Função	Requisitos para cotação
R-101/102/103 / 3	Reatores de aproximadamente 3 m³	Compatibilidade química e abrasão; cálculo mecânico; suporte e contenção.
AG-101/102/103 / 3	Mistura e dispersão de gás	Redutor, inversor, proteção do eixo, torque e manutenção.
TK-201 / 1	Recepção da descarga	Carga completa + lavagens + margem; instrumentação e drenagem.
SC-201 / 1	Retenção do carvão	Abertura validada; acesso; coleta de finos e lavagem contida.
P-201 / a definir	Transferência de polpa	Curva na polpa, altura manométrica, vazão de descarga e materiais.
AR-301 / conjunto	Ar de processo	Vazão, pressão, filtragem, controle, retenção e proteção contra retorno.
DR-401 / conjunto	Dosagem de reagentes	Preparo e transferência projetados, identificação e isolamento.
UT-501 / conjunto	Tratamento de resíduos	Capacidade compatível com as bateladas e a química medida.
AU-601 / opção	Eluição, eletrodeposição e produto	Módulo especializado ou serviço contratado com rastreabilidade.

Avaliar aço com revestimento, aço inoxidável ou polímeros estruturais conforme abrasão, soluções, temperaturas e limpeza. Não escolher apenas pela aparência ou pelo preço inicial. Revestimentos precisam ter reparo e inspeção previstos; conexões e selos podem falhar antes do corpo do tanque.

Prever bocais para carga, descarga, amostragem, sensores, gás e transbordamento contido. Drenos devem ser controlados e identificados. Portas e tampas precisam permitir manutenção sem entrada rotineira no tanque. O suporte do agitador recebe cargas distintas das paredes do reservatório.

13. Bombas, tubulações e descarga

Dimensionar por vazão instantânea e pior condição operacional. A vazão média equivalente de 0,0782 m³/h não representa o serviço de esvaziar um reator. Se 1,877 m³ forem transferidos em 30 minutos, a vazão média durante a descarga será 3,75 m³/h; considerar também pico, lavagens e margem. Esse tempo é um exemplo de cálculo, não uma exigência validada.

H_{total} = diferença de nível + perdas em tubos e acessórios + pressão requerida no destino.
Potência hidráulica = $\rho \times g \times Q \times H_{total}$; potência elétrica depende das eficiências da bomba e do motor.

Tema	Especificação / verificação
Vazão e diâmetro	Evitar sedimentação e erosão; velocidade final escolhida com propriedades reais da polpa.
Sucção	Verificar NPSH, entrada de ar, nível mínimo e restrições; evitar funcionar a seco.
Carvão na linha	Selecionar transferência que reduza fragmentação e permita retirada de bloqueios.
Válvulas e conexões	Passagem adequada, isolamento acessível e compatibilidade com sólidos.
Pontos baixos	Prever drenagem e limpeza contidas; evitar trechos mortos e retenção de polpa.
Falha da peneira	Desviar para destino contido; não descarregar carvão fora da recuperação.

A descarga por gravidade pode simplificar o piloto se a elevação, o acesso, a estrutura e a contenção forem compatíveis. Não adotar um tanque elevado sem calcular cargas, manutenção e consequência de vazamentos. Linhas de ar e reagentes precisam de prevenção de retorno de polpa.

Teste de aceitação hidráulica

Medir tempo de transferência, volume residual, perdas de carga e capacidade de lavagem. Testar nível alto do receptor, obstrução e isolamento com água antes da operação química. A capacidade de recepção deve incluir a descarga integral e o volume simultâneo das lavagens.

RECUPERAÇÃO INTERMEDIÁRIA / 14

14. Carvão, peneira e lavagem

Escolher carvão apropriado à recuperação de ouro e pedir dados de tamanho, resistência ao atrito, atividade, umidade e densidade aparente. Medir sua carga de ouro e estado de reutilização. A peneira deve reter o carvão útil e permitir passagem da polpa sem perder ouro em frações não contabilizadas.

Cálculo / ponto	Interpretação
Inventário de carvão	$M_c = \text{concentração de carvão} \times \text{volume de polpa}$. Usar bases e unidades explícitas.
Exemplo bibliográfico	10-25 g/L em 1.877 L equivalem a 18,8-46,9 kg. É referência de circuitos industriais, não dosagem desta batelada. [1]
Abertura da peneira	A literatura registra 0,6-0,8 mm em certas aplicações. Selecionar com tamanho mínimo do carvão e máximo do minério. [1, 9]
Carvão fino	A fração que atravessa a peneira pode conter ouro; coletar, quantificar e ensaiar.
Lavagem	Retirar polpa aderida em circuito contido; água e sólidos da lavagem continuam no balanço.

Realizar teste com a granulometria real. Se houver minério grosso retido junto do carvão, corrigir a classificação ou adotar separação validada. Não descartar o material retido como se fosse resíduo sem valor. Prever acesso para inspeção e limpeza, sem exposição à polpa e sem desmontagem sob fluxo.

Carga e permanência do carvão

O ponto de retirada depende da cinética, ouro acumulado e desempenho, não de um número fixo de dias. Um piloto de baixo teor pode manter parte importante do ouro em inventário durante várias cargas. Pesar carvão em base definida, amostrar de forma representativa e registrar transferências. Não confundir massa úmida com massa seca.

CONTROLE DA PLANTA / 15

15. Instrumentação e intertravamentos

Medição	Aplicação	Resposta a falha / desvio
pH de polpa	Controle químico; confirmação independente.	Bloquear dosagem de cianeto se inválido ou abaixo da faixa aprovada.
Oxigênio dissolvido	Acompanhar disponibilidade para a reação.	Investigar gás, mistura e demanda; corrigir pela folha validada.
Nível e alto-alto	Inventário e prevenção de transbordo.	Interromper alimentações; manter destino seguro.
Rotação / corrente	Confirmar mistura e condição mecânica.	Bloquear dosagem se suspensão estiver indisponível.
Fluxo e pressão de gás	Conferir distribuição e ausência de retorno.	Alarmar e seguir estado seguro projetado.
Temperatura	Interpretar química e exposição.	Alarmar limites definidos; investigar a causa.
Ventilação / HCN	Proteção ocupacional conforme análise de risco.	Bloqueio e resposta de emergência da instalação.
Análises laboratoriais	Ouro, cianeto e composição da matriz.	Sem liberação por aparência, cheiro ou pH isolado.

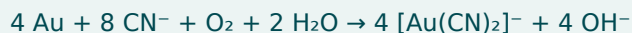
Sensores em polpa precisam de montagem, limpeza e calibração apropriadas. Verificar efeitos de abrasão, incrustação, bolhas e leitura instável. O instrumento de pH não substitui análise de cianeto; o de oxigênio não substitui análise de ouro.

Registrar data, hora, tag, leitura, estado e ação. Usar PLC e arquitetura elétrica apropriados às funções de segurança. Sistemas simples de telemetria podem apoiar o histórico, mas não devem ser a única barreira para impedir dosagem ou transbordo.

Após falta de energia, a partida exige inspeção e autorização. A lógica de emergência deve preservar as funções de proteção necessárias; não desligar indiscriminadamente exaustão e outros sistemas essenciais.

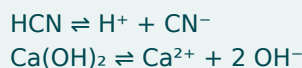
16. Química da lixiviação

Oxidação e formação do complexo



A equação global de Elsner representa ouro metálico oxidado e estabilizado como complexo aurocianeto. O oxigênio recebe elétrons; o cianeto participa da complexação. A reação acontece na superfície acessível do ouro. A disponibilidade conjunta de reagente e oxigênio influencia a velocidade. [6]

Alcalinidade e espécies de cianeto



A alcalinidade desloca a distribuição para CN^- , enquanto a acidificação favorece HCN , espécie volátil e altamente tóxica. Controlar pH reduz esse risco, mas não elimina a necessidade de ventilação e monitoramento. Não há garantia de ausência de HCN por uma leitura isolada, e o odor não é meio de detecção. A faixa e os limites de bloqueio precisam ser aprovados para a instalação. [7]

O que pode consumir reagente sem produzir ouro

Minerais de cobre, compostos de enxofre e outros componentes podem consumir cianeto ou oxigênio. Parte do ouro pode continuar encerrada em minerais. Assim, o consumo real é determinado em ensaio com minério e água representativos, acompanhando solução e sólidos.

Distinguir cianeto livre, dissociável em ácido fraco (WAD) e total. Eles descrevem conjuntos analíticos diferentes e não são intercambiáveis. A recuperação do ouro não demonstra que o resíduo esteja tratado. A seleção analítica e do tratamento deve considerar as espécies presentes. [7, 10]

O objetivo de controle é a menor condição comprovada que alcance o resultado técnico com estabilidade e segurança. Acrescentar reagente sem medir pode elevar consumo e inventário sem recuperar o ouro inacessível.

DA BANCADA AO PILOTO / 17

17. Unidades, reagentes e folha de operação

A folha de operação deve ser preenchida com os resultados dos ensaios e aprovada antes da primeira carga química. Não existe dose universal em “quilos por tonelada” para um minério não caracterizado. O alvo de concentração e o consumo por tonelada são grandezas diferentes.

Campo	Base de registro
Cianeto	Concentração-alvo e banda; método; expressar como CN ⁻ ou NaCN, sem misturar bases.
Consumo	Massa ativa adicionada / tonelada seca, incluindo reposições e pureza do produto.
Alcalinizante	Produto escolhido, demanda medida e efeito na reologia; controle por faixa aprovada.
Oxigênio	Faixa de oxigênio dissolvido; vazão de gás medida e demanda da polpa.
Carvão	Massa seca equivalente, tamanho, condição e teor inicial.
Tempo	Critério de encerramento baseado em curva e análises, além de tempo máximo autorizado.
Água	Fonte, volume e qualidade; contribuição de minério, lavagens e soluções.

Conversões úteis para conferir um cálculo

1 mg/L = 1 g/m³. Para uma concentração C em mg/L e volume líquido VI em m³, a massa correspondente em kg é $C \times VI / 1.000$. A base é a fase líquida indicada no método, não o volume de polpa usado para inventário de carvão. Isso é conversão de unidade; não é dose operacional.

As massas molares de NaCN e CN⁻ são aproximadamente 49,01 e 26,02 g/mol. Concentração como NaCN ≈ concentração como CN⁻ × 1,884. A correção de pureza é separada. A reposição exige considerar o residual medido e o histórico de consumo, e deve seguir o procedimento validado.

Preparo, armazenamento e dosagem exigem conjunto projetado, ficha de dados de segurança, identificação e operadores treinados. Manter ácidos fisicamente segregados. Este manual não prescreve mistura artesanal nem lavagem ácida de materiais contendo cianeto.

ROTINA VALIDADA / 18

18. Sequência de operação de uma batelada

Passo	Execução e registro	Condição para avançar
1. Liberar a carga	Conferir lote, umidade, massa seca, água e rota.	Folha aprovada; destinos e recursos disponíveis.
2. Inspecionar	Verificar tanque, válvulas, peneira, bombas, sensores e contenção.	Sem defeito aberto que impeça operação.
3. Formar a polpa	Carregar segundo sequência mecânica comissionada; confirmar sólidos e nível.	Suspensão estável e medição coerente.
4. Condicionar	Estabilizar alcalinidade, mistura e oxigênio pela folha de ensaio.	Faixas confirmadas e permissivos ativos.
5. Lixiviar	Dosar pelo sistema projetado; acompanhar residual e cinética.	Nenhum desvio sem resposta definida.
6. Adsorver	CIL: carvão na fase de lixiviação; CIP: fase posterior de adsorção.	Inventário e análises de carvão registrados.
7. Encerrar	Aplicar critério de curva, residual e captura.	Resultados e responsável pela liberação identificados.
8. Descarregar	Transferir à peneira e ao receptor; coletar todas as lavagens.	Capacidade receptora e contenção confirmadas.
9. Reconciliar	Pesar e amostrar carvão, resíduos, líquidos e demais produtos.	Inventários atualizados; perdas investigadas.
10. Preparar retorno	Limpar de forma validada, inspecionar e liberar equipamento.	Sem partida automática em leito sedimentado.

Esta sequência é um roteiro de desenvolvimento. Os valores numéricos de pH, concentração, oxigênio, tempos, alarmes e ações corretivas devem vir dos ensaios e da análise de risco. O operador registra qualquer mudança de minério, água, carvão, reagente ou método de medição; não ajusta várias variáveis sem rastreabilidade.

ESCOLHA EXPERIMENTAL / 19

19. Gravimetria e comparação CIL/CIP

A gravimetria é opcional e precisa demonstrar contribuição ao resultado final. Avaliar o concentrado e o material que segue à lixiviação. Medir distribuição de ouro e massa em todas as correntes. Um concentrado com teor alto pode representar pouco ouro total; uma recuperação gravitacional alta pode perder vantagem se o concentrado não for recuperado adequadamente.

Comparação	Como conduzir
Com e sem gravimetria	Usar cargas equivalentes e independentes. Registrar moagem e método de concentração.
CIL em batelada	Acompanhar ouro no carvão, na solução e no sólido durante a lixiviação.
CIP em batelada	Acompanhar lixiviação antes do carvão e adsorção depois; somar o tempo real das fases.
Carvão novo e reciclado	Registrar atividade, ouro inicial, desgaste e perdas de finos.
Água nova e reciclada	Comparar matriz química, consumo, incrustação e recuperação.

Recuperação combinada: exemplo puramente aritmético

$R_{global} = R_g \times \eta_g + (1 - R_g) \times E_l \times \eta_l$
Se $R_g = 0,30$; $\eta_g = 0,98$; $E_l = 0,90$; $\eta_l = 0,98$:
 $R_{global} = 0,9114 = 91,14\%$.

R_g é a fração do ouro que entra no concentrado gravimétrico; η_g é a recuperação final desse concentrado; E_l é a extração do ouro restante; η_l é a recuperação final do ouro lixiviado. Os números são um exemplo, não uma previsão. O cálculo evidencia que cada perda a jusante reduz o ouro produzido.

O ensaio em batelada não avalia por si só a transferência de carvão em contracorrente de uma planta industrial. Se a expansão desejada for contínua, haverá uma etapa posterior de testes e dimensionamento dessa configuração.

RECUPERAÇÃO FINAL / 20

20. Eluição: do carvão à solução rica

O carvão carregado é um portador do complexo de ouro. A eluição transfere esse ouro para uma solução que será tratada na etapa de recuperação metálica. O módulo envolve coluna, circulação, soluções específicas, controle térmico e, conforme a tecnologia, pressão. Não é apenas um tanque adicional com aquecimento.

Item de especificação	Exigência ao fornecedor / prestador
Lote de carvão	Massa seca, teor de ouro/prata, umidade, tamanho e possíveis contaminantes.
Capacidade e campanha	Quantidade acumulada por ciclo e tempo de processamento; não dimensionar só pela t/d de minério.
Tecnologia	Fluxograma completo e condições garantidas; materiais, energia e utilidades.
Proteções	Pressão e temperatura, bloqueios, alívio, ventilação e contenção.
Separação de circuitos	Procedimento para impedir contato incompatível e retorno de soluções entre módulos.
Desempenho	Ouro no carvão antes/depois, solução produzida, perdas e critérios de aceitação.
Reutilização	Condição de retorno, atividade, peneiramento e eventual regeneração especializada.

Opção de início: recuperação final contratada

Para um piloto de baixo inventário de ouro, reunir lotes de carvão e contratar uma unidade especializada pode ser mais adequado que instalar uma pequena eluição incompleta. Exigir contrato com massa e teor de entrada, documentação da amostragem, teor do carvão devolvido, produto final, perdas e prazo. O ouro em trânsito continua no inventário da campanha.

A lavagem ácida e a regeneração térmica, quando necessárias à tecnologia, são operações distintas que demandam projeto e segregação. Não aplicar um procedimento genérico diretamente ao carvão retirado da polpa. O manual de operação do módulo adquirido deve definir seus permissivos e sequências.

Liberação para eluição: identificação do lote + análise + circuito comissionado + capacidade de contenção + procedimento do fornecedor. Fechar o balanço antes de declarar o carvão “sem ouro”.

DO COMPLEXO AO METAL / 21

21. Eletrodeposição e coleta do depósito



No cátodo, a redução do complexo forma ouro metálico. A reação também mostra que retirar ouro não destrói automaticamente o cianeto da solução. A solução empobrecida permanece sob controle químico e ambiental. A célula, o retificador, os eletrodos, o fluxo e a ventilação devem ser selecionados como conjunto.

Componente / controle	O que acompanhar
Alimentação da célula	Volume, ouro e prata, composição, condutividade e condição especificada pelo fornecedor.
Retificador	Tensão, corrente, conexão, proteção e intertravamentos próprios do equipamento.
Cátodo e anodo	Material, área, distribuição e manutenção; contabilizar material removido.
Circulação	Vazão, nível, temperatura e uniformidade do fluxo; não operar sem condição mínima.
Desempenho	Ouro na entrada/saída e no depósito; energia e eficiência medidas na campanha.
Coleta	Procedimento fechado para remoção e lavagem; capturar sólidos e líquidos gerados.

Transferência do ouro depositado

Desenergizar e isolar o equipamento pelo procedimento específico antes da coleta. Identificar o lote, recuperar o depósito e as lavagens em recipientes compatíveis e destinados ao processo. Amostrar as soluções residuais e registrar massas em bases conhecidas. Inspecionar possíveis retenções de ouro em eletrodos, tubulações e filtros.

O depósito pode conter prata, cobre, material do cátodo e umidade. Seu peso bruto não é massa de ouro fino. Antes de secagem ou tratamento térmico, caracterizar o material e confirmar que o procedimento do módulo é compatível com resíduos químicos presentes.

Não aquecer depósitos ou carvão com resíduos químicos por um método improvisado. A unidade de acabamento deve ter procedimento específico, captura de emissões e critérios de liberação do material.

PRODUTO E RASTREABILIDADE / 22

22. Doré, ensaio e coleta do ouro final

Doré é uma liga metálica de composição variável, em geral contendo ouro e prata e outros elementos. Não deve ser apresentado como ouro de pureza comercial sem análise. O acabamento do depósito exige unidade de metalurgia apropriada, com preparação, forno, exaustão, equipamentos e operador qualificado.

Fase	Controle necessário
Receber o depósito	Identificar lote e origem; conferir massa e condição química antes do tratamento.
Preparar para fusão	Método de filtração, lavagem e secagem aprovado para a composição real.
Definir fundentes	Selecionar pelo ensaio do material e pelo processo; não aplicar receita universal de bórax.
Fundir e vaziar	Forno, cadinho, exaustão, ferramentas, molde e procedimento próprio da instalação.
Recuperar remanescentes	Registrar escória, cadinho, poeiras e filtros; analisar e recuperar quando indicado.
Pesar e amostrar doré	Balança calibrada; identificação única; amostra representativa por método validado.
Enviar ao refino	Documentos de massa, composição, custódia, recebimento e resultado do refinador.

Exemplo de ouro fino

Uma peça de 12,00 g com 75,0% de Au contém 9,00 g de ouro fino. Se houver 20,0% de Ag, contém 2,40 g de prata. A massa restante pertence a outros componentes. O valor do lote e a recuperação usam a massa de ouro fino, não o peso bruto da peça.

Para rastreabilidade, registrar código da peça, campanha, carga(s) de origem, massa, data, responsável pela coleta, laboratório, resultado e movimentações. Manter conciliação entre carvão enviado, soluções, depósitos, doré e remanescentes. Se a finalização for externa, declarar o ouro como estoque em processo até o fechamento.

A coleta final termina com ouro fino quantificado e custódia registrada. O brilho, a cor ou a densidade aparente não substituem o ensaio.

FECHAMENTO DO CIRCUITO / 23

23. Água, resíduos e tratamento

A planta deve ter destino definido para polpa, soluções, lavagens, finos e resíduos do acabamento antes da primeira operação química. Selecionar o tratamento com a composição real, incluindo cianeto livre, WAD e total, metais, sólidos e parâmetros exigidos para o destino. A literatura técnica apresenta alternativas de destruição de cianeto que precisam de ensaios específicos. [10]

Corrente	Plano de gerenciamento
Polpa após peneira	Recepção contida; tratamento demonstrado; separação e destino aprovados.
Água recuperada	Análise e liberação para reciclo; acompanhar acúmulo de sais, metais e reagentes.
Lavagem de carvão	Coleta no circuito; avaliar ouro, finos e contribuição de água.
Soluções de eluição/EW	Circuito próprio; reciclo ou tratamento pelo projeto do módulo.
Finos de carvão	Inventário metalúrgico; recuperação ou destinação após caracterização.
Resíduos da fusão	Análise de ouro e composição; acondicionamento e destino compatíveis.

A operação pode ser limitada pelo tratamento, mesmo quando os reatores têm espaço. Dimensionar o receptor para a descarga integral e lavagens, e a unidade de tratamento para a frequência real de bateladas. Reservar capacidade para reprocessamento ou quarentena de lotes fora de especificação.

Balanço de água

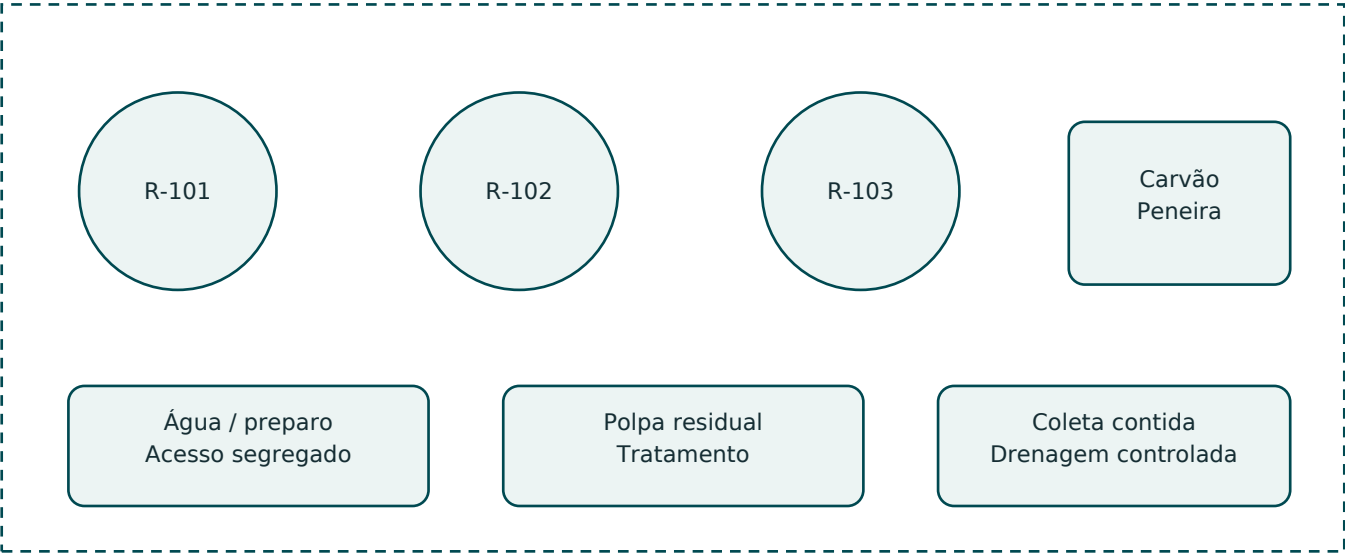
Água de entrada + estoque inicial = água nos produtos/resíduos + perdas + estoque final. Identificar água aderida ao minério, água nova, reciclada, das soluções e lavagens. Separar águas pluviais limpas das águas de processo por projeto. A chuva na área contaminada entra no balanço e na contenção.

pH alcalino, solução límpida ou ausência de ouro não comprovam tratamento. A liberação de uma corrente exige análise e critério de aceitação definido para seu uso ou destino. Não usar este manual como autorização de descarte.

ENGENHARIA CIVIL / 24

24. Implantação, contenção e utilidades

Área de processo contida - esquema sem escala



Painel, amostragem e circulação em posições acessíveis

Organizar acesso de carga, coleta, manutenção e saída sem cruzamentos desnecessários. A área precisa de piso compatível, contenção, drenagem controlada e equipamentos acessíveis. O desenho acima indica relações entre módulos; não define dimensões do terreno nem distâncias de segurança.

Verificação	Base de projeto
Fundação e apoios	Tanque cheio, equipamento, torque, cargas de manutenção e ações locais. 3 m³ de polpa na densidade-base pesam cerca de 4 t, antes do tanque e acessórios.
Contenção	Maior vazamento plausível + linhas conectadas + lavagens/chuva de projeto; descontar volumes ocupados e analisar sifonamento.
Utilidades	Energia, gás, água, ventilação, drenagem e recursos de emergência com capacidade simultânea.
Segregação	Reagentes incompatíveis, painéis, acabamento térmico e circulação com posições próprias.

Uma regra genérica de 110% do maior tanque não substitui a análise das correntes conectadas, precipitação e volume útil disponível. A orientação do Cyanide Code é referência de boa prática, não substituto de requisitos aplicáveis. [17]

COLOCAR O CONJUNTO EM FUNCIONAMENTO / 25

25. Montagem e comissionamento

Etapas	Verificação de campo	Evidência de aceite
Projetos e interfaces	Conferir desenhos, tags, utilidades, contenção e destinos.	Documentos aprovados; pendências classificadas.
Recebimento	Conferir materiais, certificados, motores, sensores e acessórios.	Lista de inspeção e identificação.
Montagem	Verificar apoios, alinhamento, conexões, proteção e aterramento.	Registros mecânicos e elétricos.
Teste com água	Estanqueidade, fluxo, drenagem, lavagens e transbordo contido.	Tempos, volumes e reparos registrados.
Teste de controles	Simular falha de sensor, nível alto, parada e perda de energia.	Matriz de causa e efeito testada.
Teste com sólidos	Demonstrar suspensão, descarga, abrasão inicial e peneiramento.	Distribuição da polpa e carga do motor.
Primeira carga química	Executar folha validada com responsável e análises disponíveis.	Histórico completo e balanço provisório.
Campanha	Repetir cargas e testar ciclos e rotina de manutenção.	Relatório de desempenho e aceite.

A partida deve ter uma lista de pendências impeditivas e não impeditivas. Um sensor de pH falhando, um destino de polpa indisponível ou um permissivo não testado impedem a carga química. Ajustes durante a campanha precisam de registro de mudança e avaliação das interfaces afetadas.

Condição para declarar a planta operável

Ter equipe treinada, equipamentos e contenções inspecionados, rotinas de análise funcionando, procedimentos aprovados, destino de resíduos comprovado e sistema de resposta a emergências definido. A disponibilidade de tanques e reagentes, isoladamente, não caracteriza uma planta pronta.

MEDIR A RECUPERAÇÃO / 26

26. Balanço de ouro e qualidade do resultado

Ouro de alimentação (g) = massa seca (t) × teor de cabeça (g/t)
Extração por resíduo = $1 - (Mr \times gr) / (Mf \times gf)$
Ouro de entrada + estoque inicial = ouro de saída + estoque final

Mf e Mr são massas secas de alimentação e resíduo; gf e gr são seus teores. A extração por resíduo exige separar e preparar a amostra adequadamente, sem confundir ouro dissolvido aderido com ouro residual do sólido. Usar as massas medidas, não supor que o resíduo tem exatamente a mesma massa da alimentação.

Onde o ouro pode estar	Como contabilizar
Carvão nos reatores	Massa seca equivalente × teor; registrar carga inicial e final.
Soluções e lavagens	Volume da fase líquida × concentração, com unidade coerente.
Resíduo sólido	Massa seca e ensaio representativo.
Concentrado / depósito / doré	Massa e teor ou pureza; incluir estoques externos.
Finos, filtros e equipamentos	Amostragem e inventário quando materialmente relevantes.
Amostras retiradas	Massa/volume e teor; não tratá-las como desaparecimento.

Uma carga de 1 t com 5 g/t contém 5 g de ouro. Pequenas perdas de coleta, amostragem ou estoque podem então ser relevantes. Na carga de 100 kg ao mesmo teor há apenas 0,5 g. Definir precisão de pesagem, limites analíticos e frequência de coleta compatíveis com essas massas.

Não somar ouro no carvão ao doré que veio desse mesmo carvão como duas produções. Ao transferir o metal de um intermediário para outro, reduzir o estoque de origem e aumentar o de destino. A tolerância de fechamento deve refletir a incerteza de massa, teor e amostragem, acordada com o laboratório.

27. Manutenção e diagnóstico de desvios

Sintoma	Hipóteses a verificar	Ação de investigação
Extração baixa	Liberação, ouro encerrado, química, gás, mistura ou amostra.	Comparar curvas, mineralogia, residual e sólido; mudar uma variável por vez.
Ouro alto na solução final	Carvão pouco ativo, inventário insuficiente ou adsorção lenta.	Medir atividade, carga e tempo de contato.
Ouro alto no resíduo	Problema de lixiviação ou amostra com solução/carvão aderidos.	Rever preparação analítica e associação do ouro.
Mais finos de carvão	Atrito, bombas, peneira ou carvão frágil.	Quantificar geração e localizar ponto de desgaste.
Motor sobrecarregado	Sedimentação, teor de sólidos, travamento ou desalinhamento.	Seguir parada segura e inspeção; não forçar repartida.
Consumo químico crescente	Mudança de minério/água, medição ou demanda lateral.	Reconciliar reagentes e verificar método analítico.
Peneira entupida	Granulometria, resíduos estranhos ou lavagem inadequada.	Inspecionar classificação e capacidade hidráulica.
Balanço não fecha	Estoques omitidos, amostragem, teor ou perda de coleta.	Auditar transferências antes de alterar a química.

Estabelecer inspeção por ciclo para vedações, peneira, sensores e vazamentos; manutenção por horas de uso para bombas, redutores e agitadores; e calibração por método e criticidade. As frequências finais vêm dos fabricantes e da experiência da campanha. Registrar espessura/revestimento e acompanhar abrasão.

Manutenção exige isolamento de energias e contenção dos materiais. Entrada em tanque deve ter procedimento próprio; não usá-la como recurso rotineiro para limpeza ou recuperação de minério sedimentado.

AValiação do Piloto / 28

28. Desempenho, custos e decisão de expansão

Indicador	Como calcular / interpretar
Produção seca	Toneladas secas realmente tratadas por dia e por campanha.
Disponibilidade	Tempo disponível / tempo programado; separar falhas e esperas.
Recuperação final	Ouro fino produzido ajustado por estoques / ouro alimentado.
Consumo químico	kg ativos/t seca, por produto; separar carga inicial e reposições.
Energia	kWh/t seca por módulo; distinguir campanha de regime estável.
Água nova	m³/t seca; reportar também inventário e reciclo.
Carvão	Perda, reposição, carga e custo de recuperação por campanha.
Análises e serviços	Custo de laboratório, eluição, acabamento e transporte por lote.
Resíduos	Volume, massa e custo do tratamento/destino aprovado.

Comparar rotas por ouro fino efetivamente recuperado e custo completo. Registrar mão de obra, manutenção, consumíveis, tratamento, segurança, análises e serviços externos. Separar investimento inicial de custo operacional. Não inserir preços de mercado sem orçamento e data.

Critérios de avanço

Aprovar expansão somente se a recuperação for repetível entre lotes representativos, as perdas estiverem explicadas, o tratamento funcionar e a capacidade efetiva atingir a meta. Uma campanha com minério favorável não define desempenho da jazida. Incluir ensaios de variabilidade antes de projetar maior escala.

Se o ciclo exceder a base, avaliar reduzir massa por carga, aumentar volume ou número de unidades, mudar configuração ou aceitar menor produção. Se o problema for cinética ou ouro encerrado, adicionar tanques sem investigar pode aumentar investimento sem resolver a recuperação.

Entregável final da campanha: recomendação “avançar”, “ajustar e repetir” ou “não avançar”, sustentada por dados de minério, produto, resíduos, disponibilidade e custos.

29. Segurança e pacote de engenharia

A implantação exige responsável técnico habilitado para as disciplinas envolvidas, projetos compatíveis e verificação dos requisitos aplicáveis ao local, à atividade, ao armazenamento, à saúde ocupacional e ao destino dos resíduos. Este manual é base de desenvolvimento; não apresenta aprovação regulatória ou responsabilidade profissional.

Pacote	Conteúdo mínimo para revisão
Processo	Balanços, fluxograma, folhas de operação, P&ID;, lista de correntes e critérios de desempenho.
Mecânica	Cálculo de reatores, eixos, suportes, materiais, bombas, tubulações e acessos.
Civil	Fundação, piso, contenção, drenagem, chuva, implantação e cargas.
Elétrica / automação	Diagramas, cargas, proteção, aterramento, permissivos e estados após falha.
Operação	Procedimentos de partida, coleta, parada, limpeza e manutenção; treinamento.
Saúde e emergência	Análise de risco, ventilação, monitoramento, recursos de emergência e resposta treinada.
Ambiental	Caracterização, tratamento demonstrado, capacidade, critérios de liberação e destinos.

Resposta planejada, não improvisada

Definir quem reconhece o evento, quem aciona a resposta, como isolar a área e como contatar os recursos especializados. Alarmes de gás, vazamentos ou contato químico exigem o plano específico da instalação. Não orientar aproximação ou resgate sem treinamento e proteção adequados; o plano deve prever atendimento e informação do produto aos serviços de emergência.

Manter fichas de dados de segurança, lista de contatos e registros acessíveis. Revisar riscos de cada mudança de minério, reagente, tecnologia de eluição e tratamento. O Cyanide Code fornece referências de gestão; sua aplicação não substitui requisitos locais. [17]

FORMULÁRIO A - REPRODUZIR POR CARGA / 30

30. Ficha de batelada e histórico

Identificação		Preencher		
Campanha / carga / reator				
Origem e código da amostra				
Data / equipe / folha aprovada				
Minério úmido / umidade / massa seca				
Água: inicial, adicionada e fonte				
Carvão: massa, base e ouro inicial				
Rota / início / término / ciclo completo				

Hora	pH	OD / T	CN: base	Adição / ação

OD: oxigênio dissolvido; T: temperatura. Registrar unidades, método e identificação da amostra em folha complementar.
“CN: base” precisa informar espécie analítica e se o resultado é expresso como CN⁻ ou NaCN.

Encerramento	Registro
Carvão / resíduo / solução / lavagens	Massas, volumes e amostras:
Desvios e estoque retido	
Liberação / responsável / data	

FORMULÁRIO B - CONTROLE ANALÍTICO / 31

31. Registro de amostras e custódia

Preencher um registro para cada amostra de minério, carvão, solução, resíduo, concentrado e produto. Usar recipientes e preservação determinados pelo laboratório; amostras com cianeto não devem receber preparação improvisada. A massa retirada do processo deve entrar no balanço.

Campo	Preencher
Código único / campanha / carga	
Corrente e local da coleta	
Data / hora / coletor	
Método de coleta / incrementos	
Massa ou volume retirado / base	
Estado do processo na coleta	
Análise requerida / método	
Recipiente / preservação aprovada	
Lacre / envio / recebimento	
Laboratório / certificado	
Resultado / unidade / incerteza	
Duplicata / padrão / branco	

Registro do produto final

Produto	Registro
Código da peça / origem	
Massa bruta / teor Au e Ag	
Ouro fino / laboratório	
Custódia: saída e recebimento	

FORMULÁRIO C - LIBERAÇÃO DO PROJETO / 32

32. Compras, aceite e campos pendentes

Item	Documento / evidência	Status
Minério representativo	Caracterização e variabilidade	_____
Rota e metas	Relatório CIL/CIP e gravimetria	_____
Reator / agitador	Cálculo, desenho e garantia	_____
Bombas / peneira	Teste de polpa e descarga	_____
Materiais / revestimento	Compatibilidade e inspeção	_____
Instrumentos / PLC	Calibração e causa/efeito	_____
Contenção / fundação	Cálculo civil e implantação	_____
Reagentes	Sistema e folha de operação	_____
Resíduos e água	Ensaios, capacidade e destino	_____
Recuperação final	Fornecedor / serviço e balanço	_____
Equipe e emergência	Treinamento e plano específico	_____
Aceite final	Relatório e responsável	_____

Parâmetros que não podem ficar como hipótese na partida

Densidade e granulometria; teor de sólidos autorizado; massa por carga; faixas de pH e oxigênio; concentração e consumo de reagentes; massa e qualidade do carvão; tempo/critério de término; capacidade das lavagens; destino dos resíduos; materiais; rotação e potência; limites de alarmes e ações; composição e procedimento de acabamento do produto.

Controle de revisão: registrar número, data, responsável, alteração e evidência que a justificou. Ao validar um parâmetro, substituir a hipótese em todas as folhas afetadas. Não corrigir somente uma tabela e deixar o fluxograma ou o procedimento incompatível.

Revisão 01: consolidação da discussão e dos cálculos preliminares. Próxima revisão: incorporar os resultados do minério atual, os desenhos dos fornecedores e a liberação do responsável técnico.

33. Referências técnicas e científicas

Referências para rastrear conceitos e evidências, incluindo fontes em inglês, francês e espanhol. Valores de outros minérios são contexto técnico e não especificações da planta. Fontes históricas são identificadas pelo ano do documento. Consulta de consolidação: 01/10/2026.

[1] Stange, W. (1999). The process design of gold leaching and carbon-in-pulp circuits. Journal of SAIMM, 99(1), 13-26. Inglês.

[Abrir documento / página da fonte](#)

[2] GoldMining (2018). Annual Information Form. Seção Cachoeira: processamento e ensaios metalúrgicos, páginas impressas 49-51. Evidência histórica. Inglês.

[Abrir documento / página da fonte](#)

[3] Ausenco. Expansion and restart of a gold operation in Brazil: Aurizona. Relato do projetista, incluindo configuração híbrida lixiviação/CIP. Inglês.

[Abrir documento / página da fonte](#)

[4] OZ Minerals (2019). CentroGold Pre-Feasibility Study, anúncio de 11/07/2019; seção de processamento. Fluxograma proposto em estudo. Inglês.

[Abrir documento / página da fonte](#)

[5] Klein et al. (2008). Estudo geológico dos depósitos auríferos do cinturão Gurupi. Economic Geology, 103(5), 957-980; registro no SGB. Inglês.

[Abrir documento / página da fonte](#)

[6] Vorster, B.J.; Flatman, S.R. (2001). Cyanide control in the metallurgical process of gold extraction in AngloGold (S.A.). SAIMM. Inglês.

[Abrir documento / página da fonte](#)

[7] International Cyanide Management Institute. Cyanide Facts. Química, espécies e comportamento do cianeto. Inglês.

[Abrir documento / página da fonte](#)

[8] Metso. OKTOP Atmospheric Reactor. Dados de aplicação de reatores e mistura; documentação de fabricante. Inglês.

[Abrir documento / página da fonte](#)

[9] Kemix. Interstage Screens. Princípios de retenção de carvão e transporte de polpa; fabricante. Inglês.

[Abrir documento / página da fonte](#)

As dimensões, cenários de produção, exemplos aritméticos, formulários e recomendações de implantação deste manual são síntese de engenharia preliminar; não são resultados de ensaio publicados para o minério do usuário.

34. Referências e rastreabilidade

[10] SGS (2005). Cyanide Destruction, T3 SGS 018. Seleção e teste de processos de tratamento. Inglês.

[Abrir documento / página da fonte](#)

[11] ALS. Gravity Gold Recovery. Métodos de ensaio gravimétrico e abordagem de avaliação. Documentação de laboratório.

[Abrir documento / página da fonte](#)

[12] BRGM (2018). Rapport RP-68620-FR. Revisão de processos de recuperação de ouro e alternativas à cianetação. Francês.

[Abrir documento / página da fonte](#)

[13] Fleming et al. (2001). Thiosulphate leaching and resin-in-pulp alternatives to cyanidation. SGS, artigo técnico. Inglês.

[Abrir documento / página da fonte](#)

[14] Barrick (2016). Processing innovation nets metallurgy award. Referência primária à aplicação comercial de tiosulfato. Inglês.

[Abrir documento / página da fonte](#)

[15] Draslovka. GlyCat. Descrição comercial da tecnologia proprietária; alegações do fornecedor dependem de minério e aplicação. Inglês.

[Abrir documento / página da fonte](#)

[16] Díaz Mamani, E. (2014). Trabalho sobre lixiviação VAT, Universidad Nacional del Altiplano. Espanhol. Contexto distinto deste minério.

[Abrir documento / página da fonte](#)

[17] ICMI (2021). Guidance for Use of the Mining Operations Verification Protocol. Orientação de gestão e projeto; versão datada de junho de 2021. Inglês.

[Abrir documento / página da fonte](#)

[18] Kappes, D.W. (2002). Precious Metal Heap Leach Design and Practice. Referência de projeto por percolação. Inglês.

[Abrir documento / página da fonte](#)

O logo foi aplicado conforme o arquivo fornecido. A identidade visual não representa certificação técnica. Este documento encerra a base preliminar e deve ser atualizado com resultados e projetos específicos antes da implantação química.