



# Redes Privadas para a Mineração

Uma visão geral dos desafios, fatores de mercado, casos de uso e tendências para redes privadas para a mineração

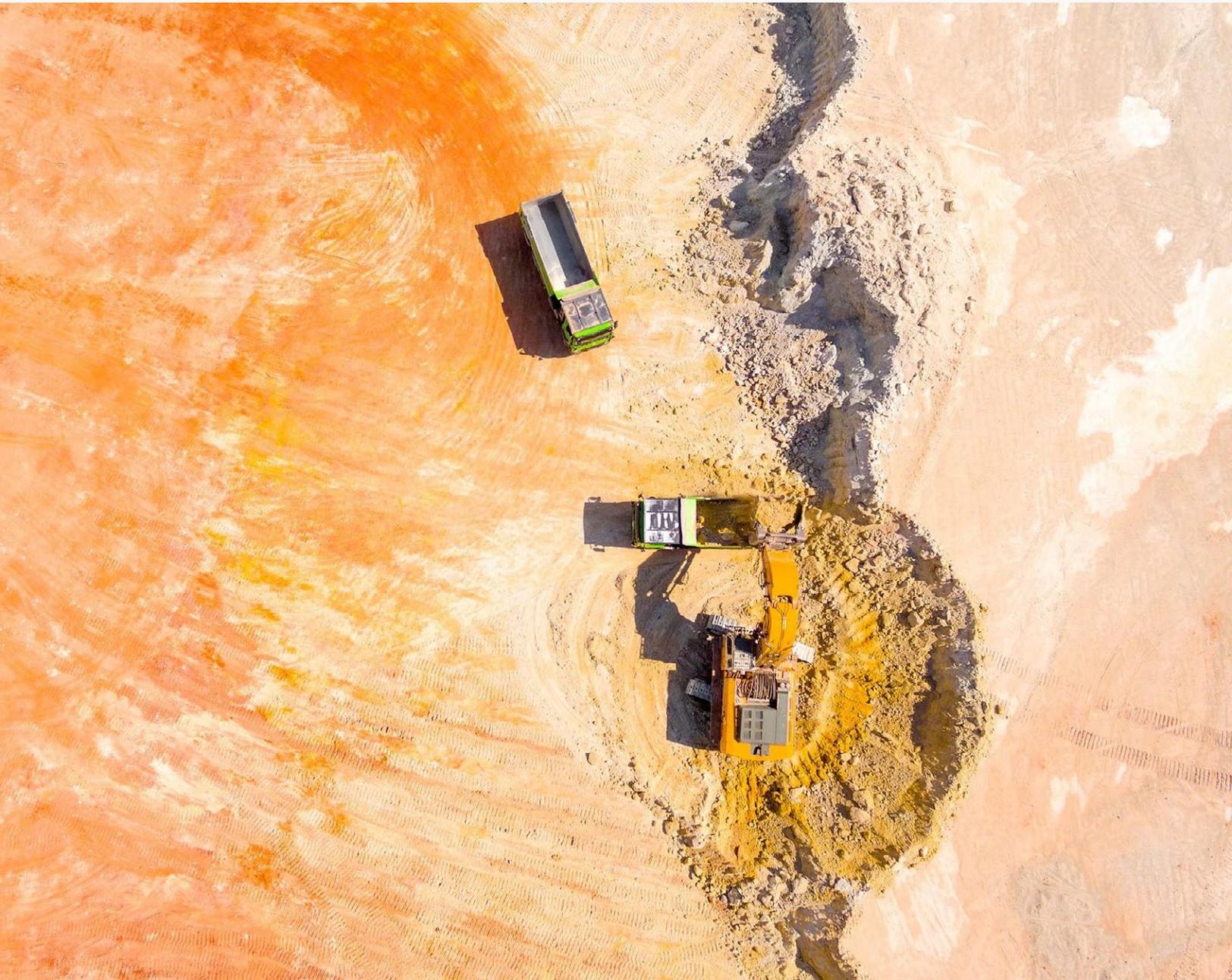


**Disruptive Analysis**



# Índice

Resumo.....	3
A definição do setor.....	5
As principais tendências, os desafios e os fatores de mercado.....	6
Os principais casos de uso para as redes sem fio privadas na mineração.....	9
Redes sem fio privadas x redes públicas.....	14
As decisões de implantação de rede e considerações práticas.....	18



# Resumo

A mineração é um setor enorme e importante. Ela gera cerca de US\$ 2 trilhões em receitas globalmente, empregando talvez 20 milhões de pessoas em 50 a 100.000 locais em todo o mundo. Enquanto algumas partes da indústria são dominadas por empresas mineradoras multinacionais gigantes, outros minerais tendem a ser mais localizados e envolvem empresas nacionais menores.

As operações de mineração são normalmente conduzidas em ambientes hostis, em grandes locais, tanto acima quanto abaixo do solo. Eles podem ter múltiplos fatores de risco, ambientes de trabalho dinâmicos e muitas vezes “não planejáveis” e altos níveis de mecanização – e, cada vez mais, automação. Os preços dos minerais podem flutuar enormemente, enquanto os atritos na cadeia de suprimentos se multiplicaram nos últimos anos. Como resultado, a economia, o planejamento e a lucratividade do setor tornaram-se menos previsíveis.

Como resultado, o setor de mineração possui alguns dos requisitos mais exigentes para redes de comunicação do que qualquer indústria vertical. Ele opera infraestrutura crítica de segurança, maquinário pesado e vários veículos em vastas áreas, muitas vezes em áreas extremamente remotas - tanto acima do solo em fossos quanto em ambientes de túneis subterrâneos.

O terreno e a área operacional mudam de tamanho e forma, o que torna a fiação permanente outro desafio. Alguns locais também precisam lidar com preocupações extras, como gases inflamáveis e explosões de mina. Pelo menos nos países desenvolvidos, a supervisão regulatória é rigorosa.

A indústria agora está se tornando ainda mais dependente da rede. Com o advento da “mineração inteligente”, a indústria está adotando ainda mais sistemas de automação, detecção ambiental, segurança do trabalhador e treinamento, além de uma ampla variedade de ferramentas de gerenciamento de ativos e produtividade. Tudo isso requer mais dados, redes aprimoradas e maior supervisão e segurança.

Este eBook foca nas tendências emergentes em redes privadas – e especialmente o uso de tecnologias sem fio celulares (3GPP), como 4G/LTE e 5G. A mineração tem sido um dos setores iniciais mais importantes para a implantação de redes móveis com foco empresarial há algum tempo, com o uso bastante generalizado da 4G privada há mais de 6 anos e a adoção contínua da 5G. Alguns dos primeiros usuários até tinham redes locais 2G ou 3G antes de 2010.



Atualmente, existem talvez 100-200 minas com redes celulares privadas em operação, embora seja difícil compilar dados concretos, pois muitas implantações não são divulgadas. A maioria delas é 4G, embora o interesse pela 5G esteja aumentando rapidamente, com vários projetos-piloto e testes em andamento.

Dito isto, a mineração é um setor muito diversificado em rede. Assim como a 4G/5G, sistemas de rádio troncalizados são usados para comunicações pessoais com tecnologias como TETRA e P25, há uma adoção significativa de malha sem fio para IoT, Wi-Fi é usada para aplicativos corporativos e links de satélite de área ampla têm sido usados extensivamente. Alguns sistemas industriais possuem conectividade sem fio proprietária. A fibra é implantada onde pode ser instalada com segurança (e permanentemente).

Com o tempo, alguns desses casos de uso podem migrar para a 4G/5G, enquanto outros novos exemplos surgirão, sem dúvida, para outras tecnologias. Eles também estão evoluindo – por exemplo, a evolução da Wi-Fi para 6/6E/7, o que pode alterar as decisões tomadas pelos administradores de rede e compradores.

A natureza global da indústria de mineração significa que os fatores regulatórios são altamente específicos do local (ou específico do país) – muitas vezes envolvendo formuladores de políticas que podem não estar na vanguarda das tendências em redes ou espectro. Isso significa que as minas provavelmente terão escolhas de rede feitas parcialmente com base em fatores locais.

**Tabela:** Exemplos de implantações/testes privados de 4G/5G de empresas de mineração

Empresa / Localização	País	Setor/Finalidade	Espectro/Tecnologia	*Fornecedores / SPs
Antofagasta	Chile	Caminhões autônomos e outros apps.	4G – banda incerta	Nokia
Agnico Eagle	Canadá	Push-to-talk, IoT, veículos, localização.	LTE + NBIoT 850MHz	Ericsson, Ambra
Newcrest Mining	Papua-NG	Operação remota de máquinas.	LTE, frequências duplas	Telstra Mining
South32	Austrália	Veículos, IoT, segurança dos funcionários.	LTE	Telstra, Ericsson
Boliden	Suécia	Máquinas e veículos remotos.	4G + a caminho da atualização 5G	Telstra, Ericsson
Gold Fields Aust	Austrália	Voz crítica, SCADA, acesso à Internet da equipe	LTE em 1800MHz	Challenge Ntwks, Nokia, Cisco
Zinkgruvan	Suécia	Comunicações críticas, máquinas remotas, posicionamento de equipe e ativos	Balizas LTE + BLE, a caminho da atualização 5G	Athonet, Telia, Mobilaris
VALE	Brasil	Minas múltiplas, veículos autônomos e remotos, sensores geotécnicos, segurança do trabalhador.	4G LTE em 2100MHz + testando 5G. Também 4G público para a comunidade local	Vivo Brasil + Telefonica Tech + Nokia
Minera las Bambas	Peru	Comunicações críticas, soluções de segurança, automação	LTE privada	Nokia, Telefonica
Norilsk Nickel	Rússia	Mineração autônoma, controle remoto, voz crítica, robótica.	LTE privada + testando 5G	Nokia, SPBEK, Qualcomm, Tele2
CODELCO	Chile	Câmera de vídeo do britador (teste).	Plataforma de teste 5G	Nokia
Gold Fields	Chile	Caminhões e máquinas remotos, drones, sensores	LTE privada	Nokia, Claro
NORCAT	Canadá	Centro de treinamento e teste de minas – usa wireless para inovação e aprendizado.	LTE privada, atualização 5G planejada	Nokia, CENGN, Ericsson
Sandvik	Finlândia	Mina de teste para prototipagem de vários sistemas de mineração inteligentes, por ex: controle remoto, vídeo 4K, etc.	5G independente	Nokia
Taiyuan Mining Innovation Lab	China	Local de inovação para testar/desenvolver soluções inteligentes de mineração.	Vários sistemas 4G/5G	Huawei

Fonte: Disruptive Analysis

\*Também pode apresentar outros fornecedores

# A definição do setor



Existem vários subsetores e tipos de locais cobertos neste relatório. A indústria de mineração é bastante diversificada em termos de ambientes físicos que requerem conectividade, bem como a sobreposição com outros setores, como o transporte e a energia (abordados em eBooks iBwave anteriores).

Os principais domínios que requerem redes sem fio incluem:

- > **Mineração subterrânea**
  - Os túneis podem variar em profundidade e extensão. Algumas minas podem ter dezenas de quilômetros de túnel.
  - Incluindo infraestrutura acima do solo associada
- > **Minas / pedreiras abertas**
  - Fossos e mineração a céu aberto
  - Guindastes, escavadeiras, caminhões, etc.
  - Incluindo rejeitos e pilhas
  - Áreas de reabilitação após o fechamento da mina
- > **Edifícios e estruturas permanentes, incluindo:**
  - Usinas de processamento (como trituradores, moinhos, tanques, fundições)
  - Armazenamento e manutenção de veículos
  - Escritórios
  - Alojamento
  - Centrais elétricas no local
- > **Ferrovia e transporte**
  - Estações de transferência
  - Estradas e ferrovias exclusivas
  - Portos e terminais
- > **Locais de exploração e desenvolvimento**
  - Perfuração remota e prospecção / geociência
  - Local da mina durante a construção
- > **Outros setores, como a mineração submarina**

Qualquer mina pode ter várias zonas correspondentes a essas categorias. Estas podem estar próximas umas das outras – e, portanto, talvez cobertas por uma única infra-estrutura de rede – ou podem estar espalhadas por muitos quilômetros, ou talvez distâncias ainda maiores onde há uma ferrovia até um porto ou uma unidade de processamento.



Junto com os múltiplos casos de uso descritos mais adiante neste eBook, deve ficar claro que a rede sem fio privada tem muitas oportunidades na mineração – mas elas geralmente precisam de um bom entendimento do setor, bem como parceria e colaboração entre fornecedores, provedores de serviços e integradores e instaladores especializados.

# As principais tendências, os desafios e os fatores de mercado

A indústria de mineração enfrenta um amplo conjunto de tendências subjacentes e fatores de transformação, mudando-a para a conectividade e, especialmente, para as redes sem fio privadas. Alguns, como a imprevisibilidade macroeconômica, são externos e comuns em vários setores, enquanto outros, como a descarbonização e a segurança, têm impactos muito específicos para a mineração.

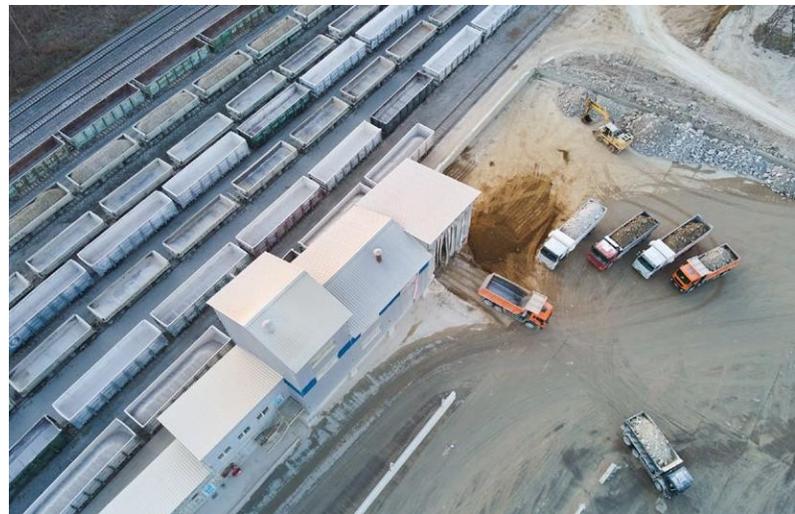
Vários termos como “Mineração Conectada” ou “Mineração Inteligente” são usados para descrever a transformação e a adoção de novas classes de TI/TO (tecnologia da informação e operacional) e as redes que as suportam.

## > **Maior segurança e produtividade dos funcionários:**

a mineração sempre foi uma das ocupações mais perigosas, com os trabalhadores enfrentando riscos de gases tóxicos, colapsos de túneis, lesões causadas por máquinas e colisões de veículos. A conectividade aprimorada é capaz de melhorar significativamente a segurança, seja pelo uso do controle remoto de equipamentos, o reconhecimento de proximidade ou o uso de sensores geotécnicos para detectar sinais precoces de perigo. Melhores conexões de voz e dados para os trabalhadores também permitem várias melhorias de produtividade, trazendo “a economia de aplicativos industriais” para dispositivos portáteis ou vestíveis.

## > **Mudanças climáticas e descarbonização:**

na próxima década, o setor de mineração (e os seus clientes a jusante) enfrentará mudanças profundas à medida que o planeta se encaminha para emissões líquidas zero de carbono. Antigas instalações fecharão, novas serão construídas e as melhorias nas operações serão generalizadas. Alguns minerais perderão importância (notadamente o carvão), enquanto outros aumentarão – por exemplo, o lítio usado em baterias, o urânio para a energia nuclear e o cobre





para o cabeamento elétrico e os motores. Todas as novas usinas – e muitos sistemas antigos – precisarão de mais conectividade para o monitoramento, o controle e a coleta de dados. Haverá ênfase na redução de energia usada para os veículos, os equipamentos e a ventilação. As redes sem fio localizadas serão um elemento importante para muitos locais – ou, na verdade, redes privadas nacionais ou de longa distância.

- > **Segurança cibernética:** a indústria de mineração é um alvo tentador para vários malfeitores, desde estados nacionais que buscam controlar o fornecimento de minerais estratégicos até ativistas ambientais ou criminosos de ransomware.

Os desafios de segurança estão se tornando multicamadas e altamente complexos. Os sistemas operacionais e de TI antigos serão fortalecidos ou retirados se tiverem vulnerabilidades, enquanto as redes serão observadas de perto quanto à resiliência e redundância. Redes sem fio privadas podem ser usadas como backups em caso de falha de fibra ou outros links e também podem reduzir o risco associado a sistemas proprietários mais antigos.

- > **Dados e análises:** as taxas de utilização de ativos costumam ser baixas no setor de mineração. Juntamente com os altos custos fixos, isso pode dificultar a monetização lucrativa das operações. As empresas de mineração estão transformando rapidamente a infraestrutura analógica herdada e os processos manuais. Equipamentos melhor conectados, sensores IoT e entrada de vídeo podem melhorar o gerenciamento de ativos, permitir a detecção de falhas, melhorar a produtividade e a alocação de recursos, prolongar a vida útil das minas, ajudar no diagnóstico e otimizar a manutenção. Espera-se que as novas ferramentas analíticas e de IA/ML ajudem na exploração de alvos e maximizem os rendimentos das minas existentes. No entanto, a grande quantidade de dados exigirá redes muito mais eficientes e robustas do que no passado, incluindo a coleta de sensores remotos ou móveis que exigem a conectividade sem fio.
- > **Geopolítica:** como muitas indústrias, a mineração está tendo que lidar com as mudanças contínuas na arena política internacional. Alguns países e setores possuem restrições e embargos comerciais. Impostos, tarifas e regulamentos de importação têm mudanças constantes. Certos minerais são vistos como estrategicamente importantes – como metais de terras raras – e podem abrir novas minas para reduzir a dependência de suprimentos globais concentrados. Alguns governos exigem clareza sobre o emprego e a conformidade ambiental em toda a cadeia de suprimentos. Isso significa que as minas precisam lidar com mais burocracia e também manter registros e rastreabilidade de materiais e equipamentos melhores. Isso é inerentemente mais intensivo em dados e rede.





- ▶ **Flutuações de preço:** o preço dos minerais – e, portanto, a lucratividade da mina – pode ser altamente volátil. Os padrões de demanda são difíceis de prever, especialmente em tempos de incerteza econômica e de recessão. A pandemia global e os conflitos regionais (e as consequências geopolíticas) contribuíram ainda mais para as oscilações de preços. Isso significa que as minas precisam controlar os custos em todos os estágios dos seus ciclos de vida e, talvez, aumentar/diminuir as operações de acordo com o mercado.
- ▶ **Preocupações ambientais e de governança:** além da descarbonização, as minas estão na vanguarda de muitos outros aspectos das regulamentações e obrigações ambientais. A poluição da água e do ar precisam de monitoramento rigoroso, tanto para as minas ativas quanto após o descomissionamento. O crescente papel das preocupações ESG entre os investidores e os governos provavelmente levará a uma maior necessidade de coleta de dados, monitoramento e respostas prováveis a emergências ou problemas. Também há mais necessidades de envolvimento com as comunidades locais, tanto para fornecer apoio econômico quanto para garantir a aceitação de atividades de mineração disruptivas.
- ▶ **Mobilidade e reutilização de equipamentos:** há um interesse considerável na mineração na capacidade de mover equipamentos em um local ou para um local totalmente diferente. À medida que os recursos de minério específicos atingem o fim da sua vida útil, o valor dos ativos e a produtividade podem ser aprimorados pela replantação de maquinário e sistemas de detecção/controle.

O planejamento baseado em cenários pode ser usado para otimizar esse tipo de abordagem. Tudo isso fica muito mais fácil se eles estiverem conectados sem fio, em vez de depender de cabos ou fibras fixas.

- ▶ **Valor e integração e flexibilidade da cadeia de suprimentos:** há interesse em algumas empresas de mineração – e alguns países que emitem licenças – em integrar várias camadas da cadeia de valor de minerais/metals. Isso requer monitoramento e gerenciamento da cadeia de suprimentos muito mais rígidos, de modo que diversos materiais de entrada possam ser entregues aos processadores a jusante sem a necessidade de grandes estoques. Além disso, as recentes flutuações na capacidade e no custo de transporte, bem como no fornecimento variável de equipamentos, aumentaram a necessidade de flexibilidade e agilidade operacional. Mais uma vez, isso é intensivo em dados e rede, com conectividade necessária nos sistemas de um determinado local e externamente para outros locais e organizações colaboradoras.

De um modo geral, todas essas tendências criam uma maior necessidade de conectividade, controle e fluxos de informação. Além disso, nenhum existe isoladamente – muitos estão interligados e exigirão uma estrutura de rede holística que se estenda por todo o local e além. Combinados, todos esses fatores amplos, bem como as tendências específicas da empresa ou do país, significam que as redes precisam ser:

- › De alta capacidade (para uplink e downlink) e de baixa latência
- › Padronizadas sempre que possível, com uma cadeia de suprimentos diversificada
- › Usando conjuntos de habilidades amplamente adotados e facilmente aprendidos
- › Disponíveis amplamente, como um serviço ou de propriedade privada. Idealmente, isso será verdade tanto dentro dos países quanto globalmente.
- › Seguras a uma ampla gama de riscos, bem como resilientes em caso de emergências.
- › Com capacidade de mobilidade e facilitando a adição rápida de novos locais/usuários e aplicativos
- › Possuir custos mais baixos (ou pelo menos previsíveis) por local ou por dispositivo.

Historicamente, muitas minas tiveram “silos” de tecnologia com ferramentas e redes de comunicação separadas. As redes

sem fio têm sido muito importantes, dadas as grandes áreas e a mobilidade envolvidas, mas apresentam desafios práticos devido à mudança de topografia e aos desafios de propagação de rádio. Os sistemas de malha, baseados em Wi-Fi ou tecnologias 802.11 semelhantes, têm sido frequentemente usados, mas apresentam restrições, especialmente para a cobertura de veículos ou redes de túneis estendidas.

Assim, embora as empresas de mineração ainda usem com frequência formas tradicionais de conectividade – principalmente fibra para ativos críticos ou Wi-Fi para locais baseados em escritórios – haverá uma demanda crescente por conexões celulares, usando as tecnologias 4G ou 5G. Frequentemente, várias tecnologias serão usadas em combinação, como backhaul via satélite para as conexões sem fio locais de locais remotos ou gateways Wi-Fi conectados via 5G.

# Os principais casos de uso para as redes sem fio privadas na mineração

Dada a estrutura do setor e as mudanças descritas acima, há duas camadas de questões a serem abordadas neste relatório:

- › Quais casos de uso são adequados para conectividade celular 4G e 5G?
- › Quando uma rede 4G/5G privada é mais apropriada do que um serviço de rede pública de uma MNO/operadora?

Esta seção destaca alguns dos casos de uso emergentes que podem se beneficiar da conectividade celular. Embora existam provavelmente centenas de aplicativos em geral – e alguns, como TI de escritório em geral, foram omitidos para concisão – os itens a seguir são típicos das aspirações de muitas empresas nesses setores.

## O Controle Remoto da Perfuração, da Escavação e de Outros Equipamentos

A função central das minas é a extração de rochas, minérios e minerais. Isso requer uma ampla gama de brocas, cortadores, escavadeiras, máquinas de perfuração de túneis, transportadores, elevadores e os seus controles associados. Estes funcionam tanto em fossos de superfície como no subsolo. Uma grande mina pode ter centenas de máquinas de tamanhos e funções variadas.

Um número crescente de máquinas e equipamentos estão conectados para o controle remoto ou a operação autônoma. Pode ser

**Disruptive Analysis**  
Darril Assumé

### Novas aplicações de TI/TO na mineração para as redes sem fio privadas

<p><b>Segurança do Trabalhador</b> Funções de proximidade, trabalhador solitário e parada de segurança</p> <p><b>Vigilância Operacional</b> Status das máquinas, dos trabalhadores e das pilhas</p> <p><b>Ventilação inteligente</b> Fluxo de ar aprimorado com menor consumo de energia</p> <p><b>Comunicações críticas</b> Comunicações de voz e vídeo da equipe</p>	<p><b>Veículos Autônomos</b> Caminhões e trens de mineração</p> <p><b>Controle Remoto</b> Operadores de máquinas em salas de controle centrais seguras</p> <p><b>Localização</b> Rastreamento e posicionamento precisos de ativos</p> <p><b>Gêmeos Digitais</b> Dados do sensor e modelos de usinas virtuais</p>	<p><b>AR/VR</b> Realidade aumentada e virtual para o treinamento</p> <p><b>Visão de Máquina</b> IA baseada em imagem para segurança e monitoramento geotécnico</p> <p><b>Sensores Ambientais</b> Detecção de gases, vazamentos de água, deslizamentos de terra, etc.</p> <p><b>Vídeo Vigilância</b> Segurança do local</p>
--	--	--

+ veículos, drones e +100

possível que os trabalhadores fiquem localizados em salas de controle centralizadas, em vez de precisarem se deslocar até o local de corte – que pode ser no subsolo e ao longo de quilômetros de túneis. Isso é mais seguro e eficiente – o mesmo trabalhador especializado pode conduzir operações remotamente em muitos lugares no mesmo turno, em vez de precisar se deslocar entre eles.

Isso requer câmeras, telemetria e sistemas de monitoramento, bem como coleta de dados e plataformas analíticas. Pode haver colaboração entre grupos de máquinas e operadores. Existem controles de segurança rigorosos, especialmente quando

o pessoal está presente no mesmo local que as máquinas automatizadas. Embora alguns possam usar conexões fixas/fibra, a natureza dos locais de mineração significa que os equipamentos se movem com frequência - portanto, o uso sem fio melhora a eficiência e minimiza o tempo de inatividade para a religação.

Os centros de operação de minas precisam de excelente controle centralizado e visibilidade de sistemas e máquinas para garantir uma operação segura, otimizar a produtividade e lidar rapidamente com eventos inesperados ou emergências. No futuro, os operadores remotos podem usar telas ou fones de ouvido de realidade aumentada, enquanto os sistemas do tipo IA podem otimizar o roteamento de veículos para reduzir o consumo de energia ou alterar o padrão de escavação para melhorar os rendimentos.

Controles remotos e sem fio requerem alta largura de banda para câmeras de vídeo e fluxos de dados associados, com baixa latência para minimizar atrasos. Em alguns casos, as funções de computação de borda podem ser usadas para otimizar as ações realizadas na perfuração de face ou por veículos. Outros itens operacionais, como os parafusos de rocha, podem ser feitos “inteligentes” com sensores sem fio para alertar contra riscos iminentes de colapso.

## Comunicações Críticas de Segurança

A comunicação pessoal é essencial para operações de mineração seguras e produtivas, especialmente em ambientes remotos, perigosos e subterrâneos. Há uma grande necessidade de push-to-talk (PTT), telefones industriais em locais fixos, sistemas de alerta e cada vez mais comunicações baseadas em vídeo. Devido à natureza das operações de mineração, com topografia física complexa, tais sistemas precisam funcionar dentro de túneis e fossos, ao redor



de pilhas de rochas, bem como dentro de máquinas e veículos com serralharia pesada. A conectividade local (no local) e o controle de chamadas são essenciais, pois muitas minas estão em áreas remotas sem conexão confiável com redes móveis públicas.

Em situações normais, os funcionários usarão PTT e PTV (push to video) essenciais para determinar as ações, os problemas e coordenar as equipes. Os operadores e os despachantes também devem reagir prontamente a emergências e identificar possíveis problemas. A natureza do gerenciamento de crises significa que a proteção dos trabalhadores valoriza sistemas confiáveis de voz e mensagens. Em uma situação perigosa, os mineradores (ou dispositivos automatizados) podem enviar mensagens de alerta ou chamadas para o centro de controle. Eles também podem rastrear dados de telemetria de saúde em tempo real, como a frequência cardíaca ou a pressão arterial.

Historicamente, sistemas como o PTT normalmente dependem de redes mais antigas, como “rádio troncalizado” (ou PMR – rádio móvel privado) e padrões como TETRA e P25. Embora altamente confiáveis, eles têm recursos limitados além da voz e podem ser caros. Dispositivos celulares podem combinar PTT com uma variedade de aplicativos de dados e vídeo.

A maioria dos sistemas MC-PTT celulares são atualmente otimizados para as redes 4G LTE, mas estão sendo atualizados para a 5G. Além disso, também pode haver a necessidade de interoperar com as redes de telefonia normais, por exemplo, para as interações comerciais entre as minas e os escritórios da sede, bem como os empreiteiros, as empresas de transporte e os outros fornecedores.

## Supervisão e automação de operações de transporte, carregamento e trem

As minas têm enormes requisitos de transporte, tanto no local quanto para a remessa de saída. Dependendo do tamanho e da estrutura do local, algumas podem usar correias para mover o minério da área de mineração diretamente para o processamento, pilhas ou zonas de carregamento. No entanto, muitos outros precisam de caminhões enormes ou outros veículos.

O transporte de minério ou minerais parcialmente processados do local da mina para os portos, outras usinas de processamento ou locais da cadeia de suprimentos é um elemento central da indústria. Sistemas eficientes e seguros para carregar caminhões, vagões de carga ou navios é um dos principais focos das operações de infraestrutura do local. Isso está vinculado a outros requisitos para automatizar e otimizar estoques e outros espaços de armazenamento no local.

Nos últimos anos houve um investimento significativo e inovação na automação de sistemas de transporte de minas. Isso inclui operações totalmente autônomas e controladas remotamente. Estradas típicas de transporte e trilhos de trem dedicados são mais simples do que as redes rodoviárias/ferroviárias públicas e estão sujeitas a diferentes controles regulatórios e regimes de segurança. Isso significa menos variáveis para um sistema automatizado – e adoção antecipada de máquinas autônomas.

Isso requer monitoramento extensivo em tempo real e conectividade confiável. Há necessidade de telemetria dos sistemas automatizados e videomonitoramento das operações. A manutenção de registros é muitas vezes obrigatória, exigindo que grandes volumes de dados sejam transmitidos e armazenados. A localização de alta precisão é usada para o rastreamento de ativos e o posicionamento de sistemas de carga/descarga. Motores e subsistemas de veículos podem ser monitorados para a manutenção preventiva ou para otimizar aspectos como o desgaste de pneus e o consumo de combustível.

Há também uma exigência muito alta de mecanismos para detectar humanos muito próximos de máquinas automatizadas – e para interromper as operações, se necessário. Embora eles possam usar câmeras no veículo e software de análise, é provável que os dados também sejam armazenados para posterior descarregamento ou transmissão.

Para todas essas capacidades, é preciso haver cobertura de rede ampla, confiável e contínua, com capacidade e velocidade adequadas. Também pode haver requisitos de rede muito diferentes para caminhões de mina navegando em uma mina a céu aberto, em comparação com uma ferrovia especial ou porto de embarque a granel, enquanto os caminhões podem precisar trabalhar em redes públicas longe da mina, se viajarem em estradas normais.



## Rastreamento de ativos, posicionamento e delimitação geográfica

Tanto em fossos quanto em minas subterrâneas, o monitoramento das posições de equipamentos, veículos e pessoal em tempo real é extremamente importante. Existem claras implicações de segurança onde veículos enormes (talvez dirigidos de forma autônoma) e furadeiras robóticas dividem espaço com trabalhadores humanos. Riscos adicionais específicos do local estão relacionados a explosivos, gases nocivos e outros perigos. Idealmente, “geocercas” podem ser configuradas, fornecendo zonas de segurança virtuais que podem parar máquinas ou explosão de detonação, se alguém chegar muito perto – ou para alertar sobre a má qualidade do ar, quando conectadas a redes de sensores. No entanto, os sinais de GPS não funcionam no subsolo ou nas sombras dos fossos mais profundos.

A geolocalização subterrânea é especialmente difícil, mas permite que as operações de mineração sejam totalmente transparentes, mantendo dados sobre tudo e todos. Além do rastreamento em tempo real, a coleta de dados de séries temporais pode alimentar os sistemas analíticos para ajudar a otimizar as operações de mineração.

A LTE/5G privada (e também a Wi-Fi) pode permitir a localização precisa de pessoas e ativos por meio de tags, dispositivos portáteis, vestíveis ou modems integrais em outros sistemas, vinculados a um mapa 3D da mina e a sua rede de rádio associada.

### Vigilância operacional em tempo real

As minas dependem cada vez mais de sistemas de IoT e coleta e análise de dados em larga escala. Isso é necessário para a otimização operacional (em vários estágios, desde a exploração até a mineração e o processamento) e para garantir a responsabilidade ambiental e a segurança do minerador.

Os dados são coletados de uma vasta gama de fontes, desde o desempenho da máquina (incluindo vibração/temperatura) até a saúde e fadiga do trabalhador (por exemplo, frequência cardíaca e sensores de movimento). Isso pode contribuir para ações de manutenção preventiva ou decisões preventivas de escalação da força de trabalho. Entradas de vídeo e sistemas de monitoramento climático podem permitir a identificação rápida de emergências e respostas apropriadas.

Além de locais fixos, também são coletados dados ou vídeos de sensores sem fio em veículos, humanos ou robôs. Câmeras ou outros dispositivos podem não estar localizados em locais fixos, mas podem se mover sobre trilhos ou mesmo drones. Dadas as grandes áreas físicas das operações de mineração, a Wi-Fi pode não ser adequada, em comparação com o celular 4G/5G.

Dados os crescentes volumes de dados e aspirações para a análise em tempo real, os recursos de baixa latência 5G se tornarão mais importantes com o tempo.

De forma mais ampla, as empresas de mineração também precisam de acesso a dados externos e sistemas integrados, por exemplo, preços de commodities, previsões meteorológicas e transporte/plataformas de gerenciamento da cadeia de suprimentos para a empresa em geral.

Juntos, a inteligência operacional e a vigilância situacional permitem uma melhor utilização de ativos e alocação de recursos.

### Ventilação inteligente

Operações subterrâneas seguras dependem de ventilação extremamente confiável e de alto desempenho, fornecendo ar aos mineiros, exalando gases residuais e potencialmente reagindo a produtos químicos tóxicos. A ventilação inteligente permite que ventiladores e reguladores sejam controlados com eficiência, com sensores monitorando a qualidade e a pressão do ar. O controle em tempo real garante um ar seguro para os trabalhadores, melhorando a eficiência e otimizando o consumo de energia dos ventiladores. Um benefício adicional é que isso significa que a infraestrutura de ventilação existente pode lidar com a expansão dos túneis de mineração, sem adicionar capacidade extra.

A LTE privada ou 5G permite mais flexibilidade na localização de sensores em comparação com a fiação fixa, especialmente usando a LTE-M ou a NB-IoT para a cobertura de área ampla com menor consumo de energia / maior duração da bateria.



## Gestão hídrica

A gestão hídrica é essencial para os requisitos operacionais, como resfriamento de equipamentos e controle de poeira. Monitorar infiltrações, acúmulo de chuva, fluxos de águas residuais e possível contaminação do ambiente local da mina também é importante. Muitas minas estão em áreas remotas ou áridas, com grande necessidade de eficiência no reaproveitamento dos recursos hídricos.

As redes privadas têm papéis a desempenhar tanto na conexão de bombas e sistemas que consomem água na própria mina, quanto no monitoramento de tubulações ou corpos d'água locais para turbidez, algas, produtos químicos ou saúde dos peixes/vegetação. Os sensores terrestres e a conectividade sem fio podem ser complementados com imagens de satélite ou baseadas em drones.

## Video vigilância

Há uma gama crescente de casos de uso para monitoramento de vídeo na mineração. A vigilância é usada para operações de mineração, segurança de perímetro, prevenção de roubo, detecção de incêndio e fumaça (especialmente por câmeras térmicas)



e conscientização situacional de pessoas e veículos. Cada vez mais, a análise de vídeo pode alimentar diretamente sistemas automatizados e cadeias de decisão rápidas no local. A conectividade sem fio pode permitir streaming de alta definição em tempo real em áreas amplas, tanto na superfície quanto no subsolo.

Em alguns casos, as câmeras podem ser montadas em faixas ou trilhos, ou pequenos robôs móveis, para inspeções periódicas em vários túneis ou áreas de interesse.

O vídeo em tempo real também é usado para monitorar a segurança geotécnica de pilhas e rejeitos de minas – o material residual geralmente coletado em pilhas ou poças no local. Houve casos perigosos decorrentes de colapsos de barragens, deslizamentos de terra ou outras violações.

Há também uma exigência de video vigilância de longo prazo após o fechamento ou desativação de uma mina. As câmeras térmicas podem fornecer proteção contra intrusão e também limitar os custos de investigação de alarmes falsos em áreas remotas. Túneis subterrâneos e poços de minas também podem ser monitorados para desmoronamentos e outros riscos.

## Treinamento e assistência baseados em VR (Realidade Virtual) sem fio

A indústria de mineração pode ser uma das ocupações mais perigosas para os trabalhadores. O treinamento imersivo baseado em AR (Realidade Aumentada) e VR pode gerar avanços significativos no treinamento de saúde e segurança ocupacional, especialmente para as novas contratações. Mineiros e operadores de veículos podem adquirir e praticar um comportamento eficaz em um ambiente seguro e controlado – seja no local da mina ou em uma instalação de treinamento dedicada. Os ambientes de treinamento em VR podem ser colaborativos, com colegas ou pessoal mais experiente trabalhando “ao lado” dos trainees.

Um exemplo de cenário de treinamento poderia envolver armar e detonar explosivos para trabalhos de detonação – uma operação perigosa especialmente no subsolo, devido aos gases metano e aos riscos de colapso do túnel. O treinamento em VR pode permitir a prática desse tipo de operação multitarefa complexa, vinculada a gêmeos digitais ou mapas 3D da mina.

Além das situações de treinamento, as ferramentas AR também podem ser úteis para as tarefas operacionais, como a manutenção de equipamentos, o carregamento de veículos ou a construção do local. O uso de óculos especiais, ou apenas tags sobrepostas em uma tela de tablet, pode melhorar a eficiência ou permitir a operação de máquinas e ferramentas sem as mãos. Os trabalhadores subterrâneos também podem usar “capacetes inteligentes” com recursos AR para se comunicar com os colegas acima do solo, por exemplo, para a assistência técnica remota.

Os dispositivos AR/VR conectados podem usar as conexões de celular ou a Wi-Fi. Em geral, é mais provável que o uso externo e “no campo” seja a 4G ou, idealmente, a 5G para menor latência e cobertura. É mais provável que o uso em sala de aula ou em outras configurações internas dependa da Wi-Fi. Baixas latências são especialmente importantes para reduzir o risco de “enjoo de Realidade Virtual” que afeta algumas pessoas que usam a tecnologia imersiva. Os controles táteis que fornecem feedback de toque/força podem melhorar o realismo da experiência, mas também precisam de tempos de resposta muito rápidos.

# Redes sem fio privadas x públicas

Redes celulares privadas e locais estão ajudando a evolução da conectividade das minas. Inicialmente, elas foram construídas principalmente com tecnologias 4G, mas agora cada vez mais as implantações e casos de uso da 5G estão se tornando mais práticos e desejáveis, com latências mais baixas e capacidades de rede mais altas.

- Redes privadas como serviço oferecidas por integradores especializados ou cada vez mais vinculadas às principais plataformas de nuvem, usando integradores e outros canais para o mercado.

Dados os locais remotos da maioria das minas, há um papel limitado para as MNOs usando a sua cobertura macro nacional 4G/5G “normal”, embora as suas redes existentes possam funcionar para certas operações, como telemática para os caminhões ou a telefonia e acesso à Internet para os trabalhadores acima do solo ou acomodações em comunidades próximas.

Embora os problemas de cobertura tendam a dominar aqui, não é a única justificativa para o celular privado. Olhando para diferentes setores, há muitos outros motivos específicos da empresa e do aplicativo que levam as empresas a procurar soluções sem fio dedicadas.

Existem cinco motivações de alto nível:

- Cobertura
- Controle
- Custo
- Integração na nuvem
- Compensação (ou monetização)

As seções a seguir descrevem essas motivações com mais detalhes.

Existem várias abordagens para a construção de redes celulares em locais de mineração:

- Implantações de rede privada pura pela própria empresa de mineração ou parceiros de sistemas, usando espectro local ou não licenciado.
- MNOs implantando infraestrutura 4G/5G como um projeto personalizado, em alguns casos por meio de unidades de negócios de serviços de mineração dedicadas. Isso pode usar as suas próprias bandas de espectro nacionais existentes ou novas licenças localizadas, se for mais apropriado.
- Operadores de rede especializados que atendem a mineração e outros setores industriais, seja com espectro local/regional próprio ou usando acordos de leasing com as MNOs nacionais.

**Demanda: Os 5 C's do Celular Privado... Aplicados à Mineração**

COBERTURA	CONTROLE	NUVEM	CUSTO	COMPENSAÇÃO
Em Áreas Internas	Segurança	Computação de borda	Substituir LRM de legado / links fixos	Produtividade
Rural / Remoto	Soberania	Latência mais baixa	Manufatura 4.0	SIMs privados
Industrial	Personalizado	Integração OT/5G	Substituição de fibra	Roaming
Escritórios	Além da Wi-Fi	Mercado de nuvem	Evitar taxas por GB da operadora	MVNO Local
Rodoviário / Ferroviário	Implantação	5G na plataforma IoT	TCO para a conectividade IoT	Financiamento público
Utilidade	Ciclo de Vida	Gêmeos Digitais		FWA Local
Subterrâneo	Mobilidade			Descarregamento da MNO
Militar / Governamental	QoS Privado			

■ Principais razões para a mineração vertical

Novembro de 2022 | Copyright Disruptive Analysis Ltd 2022

## Cobertura

A principal razão para usar 4G/5G privados em vez dos serviços MNO públicos são as limitações da cobertura da rede. As MNOs tendem a implantar ativos de rede em áreas com alta densidade populacional ou ao longo de estradas principais.

Como as minas geralmente estão localizadas em regiões remotas, onde as MNOs nacionais (operadoras de rede móvel) geralmente têm cobertura macrocelular ruim, os sistemas dedicados são comuns. Muitas minas importantes também estão localizadas em países ou regiões que ainda não implantaram a 5G, ou mesmo redes 4G de boa qualidade.

Os túneis subterrâneos obviamente precisam de conectividade sem fio local personalizada. Os fossos profundos também representam desafios significativos para a propagação, com pequenas células locais ou cabeçotes de rádio necessários para lidar com os efeitos de sombreamento. A natureza da mineração significa que a topografia do local pode mudar com o tempo, com grandes quantidades de rochas sendo movidas ou estruturas metálicas sendo implantadas. As operações de detonação podem significar que a infraestrutura de rede pode precisar ser movida temporariamente. Os drones usados para a observação podem precisar de cobertura aérea sem fio em altitude significativa. Estradas exclusivas, ferrovias privadas e instalações portuárias provavelmente estarão fora das prioridades normais de planejamento e implantação da maioria das MNOs.

Em conjunto, a mineração representa um conjunto único de desafios para a cobertura, que impulsionam o setor a criar sistemas dedicados, em vez de depender do fornecimento da rede pública.

## Controle

Possuir, especificar e/ou operar sem fio privada permite que as empresas de mineração definam e otimizem muitos parâmetros de rede por conta própria, assumindo responsabilidade direta pela segurança, confiabilidade, desempenho e geração de relatórios.

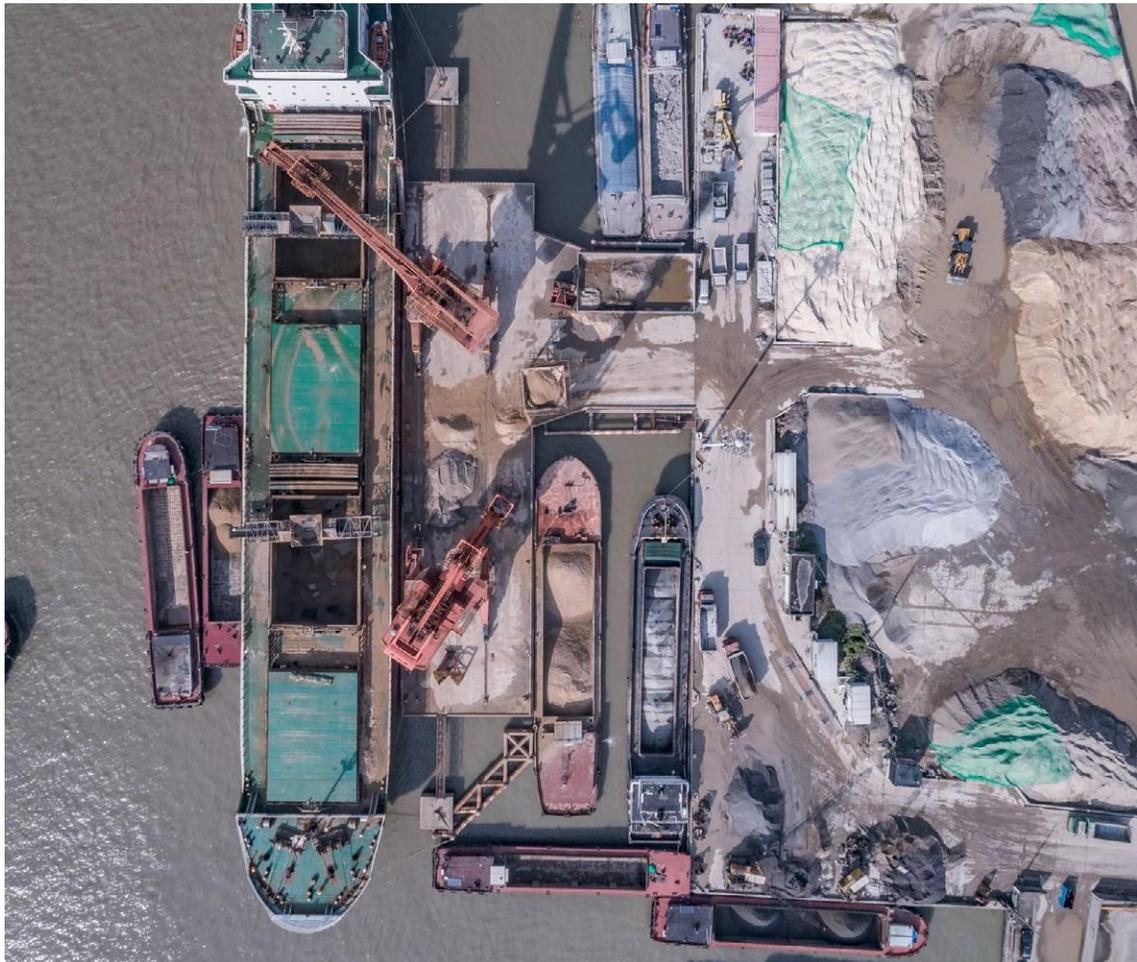
Elas podem escolher os seus próprios mecanismos de redundância e segurança cibernética, alinhando-se com as melhores

práticas e regulamentações específicas do setor ou com os requisitos de veículos e funções de computação analítica específicas. Para os aplicativos exigentes, como o streaming de vídeo ou o controle remoto de máquinas de baixa latência, elas podem personalizar e otimizar o gerenciamento e a redundância dos recursos de rádio.

Por exemplo, as câmeras de alta definição precisam de mais capacidade de uplink do que pode estar disponível em redes públicas, especialmente em bandas de espectro TDD (duplex por divisão de tempo) destinadas principalmente ao uso do consumidor de streaming de mídia e downloads.

Cada vez mais, as minas precisam de redes de maior desempenho do que no passado – sejam elas fornecidas com a Wi-Fi ou vários sistemas proprietários. Veículos autônomos e controlados remotamente precisam de suporte total de mobilidade sem quedas ou pausas entre os nós sem fio. A latência é cada vez mais um foco, dada a automação de processos em tempo real e operações sensíveis ao tempo.

O celular privado também permite o controle local e medidas de segurança a serem implementadas, por meio do uso de elementos de rede central no local.



## Custo

De um modo geral, os custos das redes sem fio para as minas representam uma proporção comparativamente pequena dos gastos totais do local em CAPEX e OPEX. Pode haver algumas vantagens de preço da 4G/5G privada em comparação com os sistemas de rádio ou os links de micro-ondas mais antigos, mas os benefícios reais podem vir da capacidade de conectar mais terminais – sejam eles sensores de IoT, módulos para veículos e maquinários ou dispositivos portáteis com especificações mais altas para trabalhadores que podem suportar os aplicativos de dados e de produtividade.

Em alguns casos, pode haver algumas economias mais difíceis em comparação com os serviços de MNO públicos, ou talvez na redução de algum uso de conexões via satélite.

## Nuvem

No mercado corporativo mais amplo, há um vínculo crescente entre as plataformas privadas sem fio e de nuvem corporativas, já que muitos elementos de software, como núcleos de rede, são fornecidos por meio de virtualização e contêineres, em vez de dispositivos físicos. As empresas de mineração também estão usando cada vez mais plataformas IoT ou IA baseadas em nuvem, talvez entregues por meio de recursos de computação de borda.

Existem sinergias significativas entre a infraestrutura de nuvem e a wireless privada, por exemplo, onde um nó no local pode suportar a função de rede principal para a 5G privada, bem como computar.

De forma mais ampla, as soluções baseadas em nuvem usadas para executar e otimizar as operações – ou talvez permitir a manutenção

preventiva ou melhorar a segurança dos trabalhadores – usam muito mais dados, de muito mais sensores, máquinas, câmeras e fontes de entrada. Isso precisa inerentemente de redes com uma melhor cobertura e capacidade muito maior – bem como o suporte de terminais móveis, como veículos ou dispositivos vestíveis.

## Compensação / Monetização

Embora alguns setores usem as redes privadas como uma fonte potencial de receita, por exemplo, de locatários terceirizados no local, isso é menos verdadeiro no setor de mineração. Em alguns casos, pode haver usuários externos de contratados, ou talvez empresas de processamento independentes e outros compartilhando o mesmo local e sistemas sem fio, mas parece improvável que muitas empresas de mineração monetizem diretamente as suas redes.

Os principais incentivos financeiros para a 4G/5G privada virão de melhorias na produtividade, o melhor gerenciamento de ativos e a alocação de recursos e talvez o menor tempo de inatividade.

Há também uma oportunidade para os fornecedores de sistemas de mineração alavancarem redes privadas – por exemplo, o fornecedor de caminhões Scania usa a conectividade do veículo como base para os serviços baseados em assinatura, como o seu conjunto de ferramentas de “otimização de local”.

Outro ângulo a considerar é o do governo que licencia os locais e operações de mineração. Em alguns casos, a mineração representa uma contribuição considerável para a renda e o emprego nacionais, tanto por meio de taxas de licença quanto de impostos e royalties adicionais. Isso pode incentivar as autoridades

reguladoras a emitir um espectro específico para as empresas de mineração para as redes sem fio, pois elas veem a oportunidade de benefícios econômicos adicionais em outro lugar.





**Disruptive Analysis**

*Don't Assume*

## 4G/5G PRIVADAS SELECIONADAS CASOS DE USO EM UM LOCAL DE MINA

Treinamento AR/VR e gêmeos digitais

Acompanhamento de bens

Acesso à internet para  
ônibus/acomodação dos  
funcionários

Sensores ambientais

Câmeras de segurança perimetral

Monitoramento  
geotécnico da  
estabilidade da  
face rochosa

Monitoramento de equipamentos  
de processamento interno

Máquinas controladas  
remotamente: recursos mais  
seguros e eficazes

*(Não ilustrado)*  
Gerenciamento de  
ventilação subterrânea

Comunicações críticas  
para os trabalhadores de campo

Caminhão Autônomo: maior  
produtividade e menor custo  
de manutenção

Dezembro de 2022 | Copyright Disruptive Analysis Ltd 2022



# Implantação de rede: decisões e considerações práticas

Esta seção considera uma série de questões práticas e técnicas relacionadas à implantação de redes sem fio privadas em minas:

- > Opções de espectro
- > Considerações sobre o planejamento e o design
- > Diversidade da tecnologia de rede

## Espectro

Um ingrediente chave para as redes privadas das minas é o acesso ao espectro adequado para a 4G/5G. Isso introduz uma grande variedade de compensações em termos de cobertura, capacidade, custo, disponibilidade do dispositivo – e também política e regulamentação.

Para cobertura de área ampla, as bandas abaixo de 1 GHz têm o melhor alcance para as redes sem fio privadas, especialmente para oferecer suporte a recursos de comunicação críticos para sistemas de controle/dados básicos e de voz ou redes IoT amplas.

O espectro de banda média entre 2-6 GHz é geralmente ideal para as redes privadas de tamanho médio, como os locais específicos de até 10 km de escala, mas também pode ser estendido para banda larga ao longo de estradas, ferrovias ou oleodutos.

Embora as bandas de mmWave mais altas sejam amplamente discutidas para a 5G, elas têm propagação ruim e geralmente alcance muito curto, embora a capacidade seja enorme. Para a mineração, elas atualmente têm aplicabilidade muito limitada, embora potencialmente

possam ser usadas em usinas de processamento ou para aplicações subterrâneas específicas.

Historicamente, a maior parte do espectro adequado para redes celulares foi concedida em base regional/nacional exclusiva para as operadoras móveis públicas (MNOs), muitas vezes por meio de procedimentos de leilões.

As empresas de mineração geralmente usam bandas diferentes (não celulares) para os seus links sem fio fixos em locais específicos. Para as comunicações críticas, os sistemas LMR/PMR usaram bandas de baixa frequência e baixa capacidade adequadas para push-to-talk e pouco mais.

Em alguns casos, operadoras de rede com foco industrial conseguiram adquirir parcelas de espectro adequadas para as redes privadas, especialmente



Disruptive Analysis

Don't Assume

## Opções de espectro para as redes 4G/5G privadas na mineração

A MNO utiliza banda própria para as redes privadas de clientes de mineração

- > Unidade empresarial MNO constrói/executa as redes para os clientes de mineração
- > Pode ser rede local dedicada ou parcialmente compartilhada com a 4G/5G pública

A MNO aluga espectro em minas remotas para o uso privado

- > A MNO fecha acordo comercial com a rede privada
- > Utiliza banda nacional mainstream em local remoto/subterrâneo

Licenças regionais disponíveis em bandas de espectro nacionais convencionais

- > O regulador oferece licenças de área regional / remota em bandas normais
- > Acessível por fornecedores especializados através do processo normal de leilão

Espectro industrial/com licença compartilhada disponível no país

- > Novas bandas e regime de licenciamento voltado para as redes industriais/verticais
- > Exemplos de CBRS dos EUA, 3.7 GHz da Alemanha e um conjunto crescente de outros

Bandas de espectro não licenciadas, por ex: 2.4 / 5 / 6 / 60 GHz

- > Utilizado principalmente para a Wi-Fi ou tecnologias de malha industrial, ou FWA
- > Também pode ser usado para algumas implantações privadas da 4G e 5G

Novembro de 2022 | Copyright Disruptive Analysis Ltd 2022

em países que leiloam licenças regionais, como o Canadá, a Austrália ou na zona econômica offshore da Noruega. Isso tem sido usado para a conectividade em mineração e petróleo/gás por diversos provedores.

Às vezes, as empresas de mineração conseguem obter licenças especiais para áreas remotas, negociando com as MNOs ou os reguladores, ou onde os governos decidiram que elas constituem importantes prioridades nacionais. Para as minas subterrâneas, obviamente não há risco de interferência nas redes macro, assim os departamentos de espectro das operadoras tendem a ser mais flexíveis se houver um ganho financeiro envolvido.

No entanto, essas flexibilizações são exceções. Historicamente, a maioria das empresas ou integradores de sistemas especializados tiveram pouco acesso direto a essas bandas móveis convencionais, enquanto poucos dispositivos têm suporte a opções de frequência mais incomuns que poderiam estar disponíveis.

Alguns exemplos de espectro local acessível para a indústria incluem:

Atualmente, essa situação está mudando de forma significativa em grande parte do mundo, à medida que mais bandas estão sendo disponibilizadas, enquanto o suporte a dispositivos 4G e 5G e equipamentos de rede para várias bandas é mais comum. Um número crescente de países está disponibilizando seções de espectro de banda média para empresas de mineração (assim como outras empresas). Normalmente isso tem como base algum modelo de compartilhamento de espectro, com licenciamento manual ou baseado em banco de dados para áreas específicas e direitos de banda. Os esquemas mais conhecidos são os dos EUA (CBRS), do Japão, da Alemanha e do Reino Unido, mas diversos outros países estão explorando opções semelhantes (por exemplo, a Arábia Saudita e o Canadá).

Existe também um interesse crescente por parte de algumas MNOs tradicionais na criação de unidades de negócios especializadas em mineração ou centros de competência. Elas normalmente constroem redes usando o seu espectro licenciado nacionalmente, mas com bandas que muitas vezes não são utilizadas em regiões remotas – por exemplo, a divisão Vivo da Telefônica, utiliza a sua alocação de 2.1 GHz no Brasil.

**Tabela:** Exemplos de implantações/testes privados de 4G/5G em Transporte/Logística

País	Bandas espectrais	Modelo de licenciamento
EUA	3.55-3.7GHz	Licenciamento por camadas e acesso dinâmico via provedores SAS (Spectrum Access System) automatizados. As Licenças de Acesso Prioritário foram leiloadas a nível regional. O Acesso Geral Autorizado é amplamente utilizável
Alemanha	3.7-3.8GHz	Reservado para o licenciamento de rede privada localizada, seja com equipamentos 4G ou 5G. Os licenciados podem solicitar ao regulador nacional direitos para locais específicos – geralmente para instalações do tamanho de um campus
França	2.6GHz 3.8-4.2GHz	A seção de 40 MHz da banda de 2.6 GHz foi disponibilizada para as comunicações críticas e o uso industrial de banda larga. O novo uso de licenças locais em Ban 77 está evoluindo e pode ser ampliado
Reino Unido	3.8-4.2GHz 1.8GHz 2.3GHz	A banda de 3.8-4.2 GHz está disponível para uso 5G local, sujeito à proteção dos licenciados em exercício. Há também pequenas alocações em 1.8 GHz e 2.3 GHz. Outra classe de licenças está disponível para reutilização secundária acordada de bandas MNO existentes em locais específicos onde elas não são utilizadas
Japão	4.6-4.9GHz	Licenças 5G locais
Austrália	1.8GHz	30MHz reservada para grupos empresariais e comunitários
Finlândia	2.3GHz 26GHz	Licenças locais para redes industriais e outros casos de uso
Chile	2.6GHz	Redes locais amplamente utilizadas para a mineração. Além disso, a participação de MNOs permite o uso de bandas licenciadas nacionalmente.
Dinamarca	3.7GHz	A locação de MNOs é possível, porém rara
Canadá	Várias bandas possíveis ou sob consulta	Áreas remotas têm SPs industriais com diversas licenças na faixa de 700-950MHz, mas o Canadá também considera modelos do tipo CBRS
Taiwan	4.8GHz	
China	Várias bandas com MNO ou permissão do governo	Participação conjunta da China Mobile e outras MNOs em projetos industriais, com apoio governamental sobre a disponibilidade de espectro

Fonte: *Disruptive Analysis*

Também é válido observar o potencial de uso de bandas não licenciadas em 2.4 GHz, 5 GHz e cada vez mais 6 GHz, bem como para 4G/5G privado – embora a falta de proteção contra interferências possa limitar o escopo para aplicações de missão crítica.

## Considerações sobre o planejamento e design

As redes privadas em ambientes de mineração costumam ser muito diferentes daquelas instaladas em locais mais previsíveis, como fábricas, portos ou armazéns. Isso significa que o planejamento e o projeto são tarefas altamente especializadas e específicas do local, especialmente onde novas tecnologias, como a 5G, estão sendo testadas ou implantadas.

Algumas das considerações com as quais os integradores e a equipe do provedor de serviços precisam tratar incluem:

- **Escala física:** as usinas de mineração podem cobrir áreas de mais de 10 km de raio, além de acessos rodoviários e ferroviários complementares e locais como terminais de processamento, centrais elétricas e portos. As redes de túneis subterrâneos podem ter 10 ou até 100 km de comprimento total. Isso representa desafios significativos para o planejamento e projeto de rede.
- **Onipresença e confiabilidade:** o uso de redes privadas para comunicações críticas e o controle remoto/autônomo de enormes veículos de mineração e maquinário perigoso significa que lacunas de cobertura são inaceitáveis. Isso pode implicar em redundância para que qualquer local tenha uma linha de visão para duas estações de base ou planejamento e testes extensivos (e contínuos).
- **Metalurgia:** a propagação sem fio em minas provavelmente será afetada pela natureza física das máquinas e estruturas – caminhões de mineração pesando 400 toneladas, metais usados em guindastes e esteiras transportadoras – e até mesmo o minério de metal nas paredes dos túneis.
- **Ambientes subterrâneos e fossos:** é evidente que os fatores mais difíceis de propagação e cobertura de rádio estão relacionados à topografia física das minas – fossos profundos, túneis e poços subterrâneos, ou estradas e ferrovias isoladas. Levantamentos e projetos minuciosos são fundamentais.
- **Mudanças de rede:** as minas são locais altamente dinâmicos, com requisitos sem fio mudando significativamente ao longo do tempo. Novos veios de mineração e túneis subterrâneos podem ser abertos, com os mais antigos sendo fechados e o maquinário realocado. Novas estradas de acesso podem ser construídas, ou fossos aprofundados e ampliados. Isso significa que o planejamento sem fio pode ser um processo contínuo.
- **Explosivos e gases:** em muitos locais, as empresas de mineração usam explosivos para detonação de rochas. Isso significa que possa ser necessário realocar o equipamento temporariamente para evitar danos, ao mesmo tempo em que pode haver a necessidade de projetos e certificações específicas (como ATEX) para

evitar emissões perigosas de radiofrequência ou faíscas elétricas que possam inflamar vazamentos de metano.

- **Restrições de backhaul:** alguns locais de mineração podem não ter boa conectividade de fibra para backhaul e transporte para as principais redes de telecomunicações. Eles podem ser totalmente remotos, com dependência de links via satélite ou links de micro-ondas de longa distância.
- **Sem fio acima do solo:** há um uso crescente de drones na mineração para vigilância de segurança, monitoramento das condições ambientais ou o cálculo dos níveis de pilha. Isso pode implicar que as redes privadas precisam fornecer cobertura tanto acima como abaixo da superfície.
- **Fibra e arquitetura central:** é provável que haja restrições sobre onde a fibra pode ser implantada, tanto acima quanto abaixo do solo, e também quanto a locais seguros para elementos centrais de rede, computação de borda e transporte óptico. Isso pode, por sua vez, definir parâmetros para a localização de unidades de rádio e outros ativos.
- **Aplicações diversas:** as redes privadas precisam ser capazes de lidar com alto throughput de dados (por exemplo, de câmeras que monitoram áreas relacionadas à segurança), bem como sensores IoT amplamente dispersos que exigem baixo consumo de energia e geram pequenas quantidades de dados. Alguns usos são fixos, outros móveis. Isso pode significar que as minas precisam combinar banda larga 4G/5G com banda estreita LTE-M ou NB-IoT.



## Diversidade de rede

Embora a 4G/5G privada esteja claramente se tornando cada vez mais importante na mineração, os locais permanecerão altamente “diversos” em termos de tecnologias de rede implantadas e utilizadas. Um local típico pode incorporar:

- 4G/5G privada conforme descrito neste relatório
- Cobertura pública 4G/5G em algumas áreas, especialmente acomodações, bem como estradas e comunidades próximas
- Wi-Fi, especialmente em áreas internas, como armazéns e escritórios
- Redes Mesh industriais - geralmente semelhantes ou integradas à Wi-Fi
- Redes proprietárias relacionadas a máquinas, drones ou veículos específicos
- Redes sem fio de baixo consumo de energia, como LoRa, utilizadas para sensores IoT
- Rádios LMR/PMR como P25 e TETRA
- Bluetooth para balizas de localização/posicionamento

- Links fixos de micro-ondas
- Opções via satélite, que estão evoluindo rapidamente de usos especializados para dar suporte a conexões de banda larga sem fio, de baixo consumo de energia e conexões "direct-to-smartphone"
- Diversos tipos de conectividade fixa e de fibra, especialmente para equipamentos fixos.

Muitas dessas tecnologias de rede são incorporadas a sistemas legados ou fornecidas por fornecedores específicos. Poucos serão desativados e substituídos da noite para o dia pela 4G/5G, mesmo que este seja o caminho pretendido – provavelmente haverá um período de migração e talvez soluções híbridas.

Isso significa que as operadoras de mineração, os integradores e provedores de serviços provavelmente precisarão lidar com redes diversas e heterogêneas – o que pode acrescentar custos e certamente requisitos de habilidades. No entanto, o progresso rumo ao wireless privado (especialmente a 4G/5G) é uma certeza – e essencial para a produtividade, segurança e sustentabilidade futura da mineração.





[www.ibwave.com](http://www.ibwave.com)