

Panorama da Gestão de Riscos e Soluções para Corrosão em Ancoragens Fixas na Escalada em Rocha

Publicado em 4 de novembro de 2024; última revisão em 10 de março de 2025.

https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4956925

Frederico Campos ^{*1, 2}

¹Membro da Comissão de Segurança da UIAA — União Internacional das Associações de Alpinismo, representando a CBME - Confederação Brasileira de Montanhismo e Escalada, desde o ano de 2020.

²Membro da Diretoria Técnica da FEEMERJ — Federação de Esportes de Montanha do Estado do Rio de Janeiro.

Resumo: Este artigo explora os desafios e as melhores práticas relacionadas à durabilidade e segurança das ancoragens fixas na escalada em rocha, com ênfase nos riscos de corrosão e nas metodologias de mitigação. A análise aborda a resistência à corrosão e os métodos de instalação, discutindo classes de corrosão, particularidades dos ambientes costeiros e falhas associadas à corrosão. Além disso, são apresentadas recomendações para a seleção adequada de ancoragens. O artigo destaca a importância da rastreabilidade do material, do controle de qualidade e do investimento em materiais de alta durabilidade para mitigar os riscos inerentes ao esporte. Conclui-se sobre a necessidade de treinamento especializado nesta temática e a importância da colaboração entre federações e fabricantes para promover a sustentabilidade e a segurança nas práticas de escalada.

Palavras-chave: ancoragens fixas; escalada em rocha; resistência à corrosão; aço inox; aço carbono.

reflete uma tendência moderna de alinhar a confiança nas proteções fixas com a exposição ao risco quando se escala no limite das habilidades técnicas.

1 Introdução

”Progresso? Hoje, dez anos desde o início de tudo, há muitas pessoas que não se importam onde colocam as proteções, seja em novas vias ou em vias clássicas. As pessoas estão perfurando cada vez mais e escalando cada vez menos.”

— Reinhold Messner, *The Murder of the Impossible - Mountain #15*, 1971 (tradução livre do autor).

As ancoragens, na forma de proteções fixas ou móveis, oferecem uma camada de proteção ao escalador, mitigando altos riscos quando, no limite da técnica, um movimento equivocado leva à queda. Embora, para alguns, o uso intensivo das proteções fixas possa ser visto como uma limitação das habilidades técnicas, estas devem ser entendidas como elementos fundamentais da segurança na escalada.

À medida que o uso de proteções fixas se multiplica, frequentemente sem o devido cuidado em sua instalação, a segurança dos escaladores torna-se cada vez mais dependente da qualidade e durabilidade dessas ancoragens. Essa dependência, mesmo que criticada por Messner em 1971,

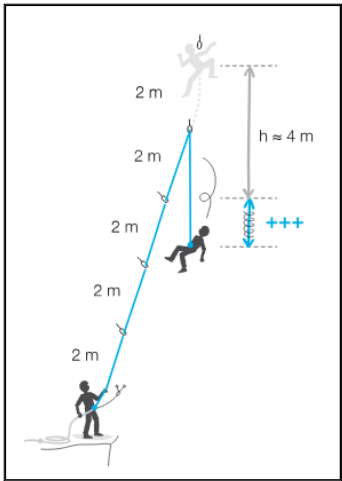


Figura 1: Ilustração de uma queda onde as proteções fixas minimizam o risco de lesões. Fonte: Petzl, *Fall factor and impact force - theory*. Acesso em 08 de out. de 2024

É notório que a escalada evoluiu para permitir acesso livre, onde a pluralidade de estilos é celebrada, sem perder de vista que o risco é parte intrínseca da prática. Assim como não se deve cercar o direito ao risco, é fundamental garantir que, quando instaladas, as ancoragens fixas sejam adequadamente seguras.

Nesse sentido, o aprimoramento contínuo das práticas

*Contato: frederico.cms@gmail.com

de instalação e manutenção torna-se essencial para assegurar a segurança e a longevidade das ancoragens. Além disso, é crucial realizar avaliações periódicas dessas estruturas, assegurando que estejam em boas condições. A comunidade de escaladores deve também manter o foco no desenvolvimento de habilidades técnicas e na autossuficiência, buscando um equilíbrio saudável entre a proteção oferecida pelas ancoragens e a competência do escalador.

Convém discutir que a gestão dos riscos associados ao uso de proteções fixas deve estar sempre alinhada com o respeito à rocha, tanto no momento da instalação quanto na manutenção. Mesmo quando esse equilíbrio é alcançado, os escaladores frequentemente enfrentam incertezas sobre a qualidade das ancoragens, principalmente devido à natureza tácita do conhecimento dentro da comunidade. Informações sobre o histórico de instalação e manutenção são frequentemente transmitidas de forma informal e não estão amplamente documentadas. Essa dependência de conhecimento não formalizado dificulta o acesso a dados confiáveis, aumentando os riscos associados ao uso de ancoragens cujo estado é desconhecido.

O uso de ancoragens em estado desconhecido torna-se crítico à medida que elas envelhecem e se degradam naturalmente devido a processos corrosivos. A corrosão é um fenômeno global que afeta ancoragens em diversos ambientes, sejam eles costeiros, urbanos ou montanhosos. A variabilidade das condições climáticas e geográficas—como umidade, salinidade do ar e composição mineral da rocha—traz severos desafios para garantir a durabilidade e a segurança dessas estruturas.



Figura 2: Ilustração de uma ancoragem fixa em péssimo estado. Fonte: Boulder Climbing Community. *How Do You Assess Bad Hardware While Climbing?*. Disponível em: [Assessing Bad Hardware While Climbing; the Do's](#). Acesso em: 08 de out. de 2024.

Este trabalho busca disseminar conhecimento suficiente para que montanhistas possam agir de forma independente, com compreensão da situação e consciência dos riscos. Para isso, propõe-se a discutir os riscos associados à corrosão de ancoragens fixas em escala global, analisando as classes de resistência à corrosão e os principais métodos de instalação que devem ser considerados por instaladores. Além disso, oferece orientações detalhadas sobre a seleção

adequada das classes de corrosão previstas pela UIAA 123¹ V4, visando garantir a segurança e a longevidade das ancoragens nas vias de escalada.

2 Evolução na segurança das ancoragens e seus desafios

2.1 A história e o desenvolvimento das ancoragens na escalada em rocha

No início do século XIX, a escalada em rocha começou a se consolidar como esporte na Europa, ainda com pouca preocupação sobre a resistência à corrosão das ancoragens. O foco principal era evitar acidentes com danos físicos, sem considerar a durabilidade dos materiais ou a preservação das rochas.

Com a evolução e popularização do esporte, as vias de escalada se multiplicaram, evidenciando o impacto da corrosão ambiental na durabilidade das ancoragens, especialmente em áreas costeiras, onde a exposição ao sal e à umidade acelera a corrosão. Essa deterioração obriga escaladores, clubes e federações a substituir ancoragens degradadas, aumentando o impacto ambiental pelos furos na rocha, consumindo tempo do voluntário ou do(s) autor(es) da via, e gerando custos extras de manutenção para poucos fundos de incentivo disponíveis, como o FIM-TE², da FEEMERJ³ no Rio de Janeiro, ou o *Reequipa Pedriza* em Madrid, na Espanha⁴.

É crucial observar que, para iniciar o processo de manutenção, é necessário que a comunidade seja capaz de razoavelmente identificar e sinalizar os riscos associados às ancoragens comprometidas.

2.2 Manutenção e avaliação de riscos

A manutenção das ancoragens começa com a etapa crucial de avaliação. Muitas vezes, a responsabilidade de avaliar a segurança das vias é colocada sobre os próprios escaladores. Comumente se escuta: “o escalador é responsável pela sua própria segurança e deve avaliar a via ao escalar”. No entanto, por vezes, essa avaliação pode exigir conhecimento técnico e formação profissional que nem todos os escaladores possuem.

A menos que uma ancoragem apresente sinais visíveis de deterioração ou tenha sido mal instalada, ela é geralmente considerada segura. No entanto, identificar falhas, como problemas de fabricação ou instalação, pode ser extremamente difícil, ou até mesmo impossível em alguns casos. Tais falhas podem incluir defeitos de fabricação, danos não perceptíveis a olho nu, como corrosão interna, trincas ou problemas na fixação, que comprometem a integridade da ancoragem e, consequentemente, a segurança do escalador. Portanto, é irreal esperar que os escaladores sejam capazes de avaliar o risco associado à corrosão ou a falhas ocultas.

¹UIAA 123 — ‘Rock Anchors’ Climbing and Mountaineering Equipment.

²FIM-TE - Fundo de Incentivo ao Manejo de Trilhas e Vias de Escalada.

³FEEMERJ - Federação de Esportes de Montanha do Estado do Rio de Janeiro

⁴Reequipapedriza www.instagram.com/reequipapedriza

Reformas, além de custosas, são danosas à rocha e demoradas. E quando negligenciadas, o risco aumenta significativamente. Por outro lado, quando as reformas são realizadas preventivamente, com ancoragens que ainda aparentam estar em bom estado, surge o debate sobre a possível descaracterização da via com a atualização de ancoragens mais modernas, além das discussões sobre os danos à rocha. Essa situação leva diretamente ao conflito entre a necessidade de reformas e a preservação das rochas.

2.3 O conflito: reformas versus preservação das rochas

Além do fator tempo e da corrosão resultante do uso inadequado de materiais, a falta de conhecimento sobre a instalação contribui significativamente para um cenário de risco e antecipação de reformas. Esses fatores podem levar a um passivo ambiental⁵ devido aos danos causados por reformas que seriam evitáveis, afastando-se os ideais contidos na Declaração do Tirol⁶:

Declaração do Tirol - Capítulo 7 - § 7: “Nós minimizamos o dano à rocha por meio da utilização da técnica de proteção menos prejudicial.”

O uso de “técnicas de proteção menos prejudiciais” deve considerar não apenas o uso de proteções móveis, quando possível, mas também buscar a máxima longevidade possível das ancoragens fixas com base no melhor conhecimento atual. Aplicar o conhecimento disponível sobre corrosão e o ambiente de instalação é essencial para equilibrar o conflito entre reformas sucessivas e a preservação da rocha, garantindo que as práticas de escalada sejam sustentáveis e respeitadas à rocha.

2.4 Sensação de segurança: vias tradicionais e esportivas

Manter um padrão consistente de resistência das ancoragens frente aos esforços gerados por quedas, além de garantir sua durabilidade contra a corrosão, é de suma importância, especialmente ao considerarmos as diferentes percepções de segurança em tipos distintos de vias de escalada.

Embora os registros de falhas em vias tradicionais⁷ sejam poucos, essa baixa incidência pode gerar uma falsa sensação de segurança, refletindo principalmente a menor frequência de quedas. O fato de não haver registros

⁵Aqui o termo passivo ambiental é usado para indicar o dever da comunidade de compensar os prejuízos causados à rocha, por meio de ações como: recuperação de áreas, investimento em métodos mais modernos e menos danosos, entre outros.

⁶Disponível em: <https://www.theuiaa.org/tyrol-declaration/>. Acesso em: 08 out. 2024

⁷Na cultura brasileira, vias tradicionais de escalada incluem aquelas com proteções fixas, ampliando o termo utilizado em inglês, que se refere a vias onde os escaladores colocam e removem suas próprias proteções (móveis). Essas vias geralmente apresentam múltiplos pontos de parada e maior espaçamento entre as ancoragens em comparação com vias esportivas.

frequentes de falhas não elimina a existência do risco⁸. Embora o risco pareça de baixa probabilidade, ele é real, especialmente quando afeta diretamente escaladores ou membros da comunidade próxima.

Essa percepção de segurança está diretamente relacionada às características das vias tradicionais de escalada.

Nas vias tradicionais, a distância entre ancoragens pode influenciar o desempenho técnico do escalador, levando o primeiro da cordada a optar por vias dentro de sua zona de conforto. Isso resulta em uma abordagem mais conservadora em relação ao risco, reduzindo a probabilidade de quedas.

Por outro lado, nas vias esportivas, a proximidade das ancoragens minimiza os riscos de lesões decorrentes de quedas e favorece um desempenho mais ousado. Devido ao uso frequente e ao fácil acesso para manutenção, essas vias costumam estar em bom estado de conservação, com ancoragens regularmente submetidas a esforços de quedas. Esse cenário exige um processo de manutenção mais intensivo.

Independentemente da classificação da via, os esforços a que as ancoragens são submetidas durante quedas dependem de diversos fatores (Bedogni & Manes, 2011), como a posição das ancoragens, o tipo de corda e freio utilizados, e a dinâmica de atrito entre os elementos do sistema. Esses fatores, muitas vezes imprevisíveis, reforçam a importância de estabelecer um cenário dimensionante para garantir a segurança. Conforme documentado na UIAA 123, esse valor de referência é de 25 kN.

2.5 Padrões de resistência à corrosão e responsabilidade compartilhada

Conforme discutido, é essencial manter altos padrões de resistência à corrosão para garantir a longevidade das vias de escalada para as gerações futuras, especialmente considerando a crescente popularidade do esporte, conforme dados da Outdoor Industry Association (*Outdoor Participation Trends Report* (Association, 2023)), e com 72 federações nacionais representadas pela UIAA⁹.

A instalação de ancoragens envolve a escolha adequada do tipo, o correto manuseio das ferramentas e o monitoramento contínuo para detectar deterioração precoce e riscos de falha mecânica ou da rocha.

No gerenciamento de riscos, a degradação das ancoragens, especialmente o envelhecimento precoce, pode superar a capacidade da comunidade de escalada de detectar e reformar as proteções. Isso introduz um risco adicional durante a transição entre ancoragens seguras e degradadas, especialmente em vias pouco frequentadas, onde as repetições são raras e há poucos casos de quedas para carregar as ancoragens além do peso próprio dos escaladores.

Dessa forma, é adequado que a responsabilidade pela seleção, uso e durabilidade das ancoragens seja compar-

⁸Formalmente, a ausência de evidência não deve ser interpretada como evidência de ausência, uma conclusão conhecida como *Argumentum ad ignorantiam*, ou apelo à ignorância. Nesse contexto, o fato de não haver registros frequentes de falhas não implica que o risco esteja ausente.

⁹Disponível em: <https://www.theuiaa.org/inside-the-uiaa/about/>. Acesso em: 08 out. 2024.

tilhada entre todas as partes interessadas—os autores, a comunidade de escaladores e os fabricantes. Em particular, os fabricantes devem testar e validar seus produtos antes de disponibilizá-los.

Ponto de Atenção: A norma UIAA 123 estabelece critérios de teste e qualidade para ancoragens fixas e desempenha um papel central nesta discussão. Sua versão mais recente, V4 de 2020, introduziu padrões de teste mais rigorosos para avaliar a resistência à corrosão. Este artigo explorará as atualizações dessa norma e suas implicações nas seções subsequentes.

Resumo da Seção 2

A evolução da escalada em rocha evidenciou a necessidade de ancoragens duráveis e seguras. A multiplicação de vias, especialmente em áreas costeiras, tornou a corrosão um problema crítico. A substituição de ancoragens degradadas gera passivo ambiental e altos custos. Como nem todos os escaladores possuem conhecimento técnico para avaliar riscos, é injusto esperar que identifiquem falhas ocultas. Portanto, estabelecer padrões rigorosos de resistência à corrosão é essencial para garantir a segurança e a sustentabilidade da escalada.

3 Impacto ambiental das ancoragens

3.1 Primeiros materiais utilizados nas ancoragens

Como discutido anteriormente, no início do esporte, o material escolhido para as ancoragens fixas era o aço de baixo teor de carbono, de composição simples, amplamente acessível e de baixo custo. No entanto, a aplicação desse material sem considerar o ambiente específico da via resultava em uma corrosão lenta—e até aceitável—em regiões de vales internos ou rurais, mas levava a uma degradação acelerada e inaceitável em ambientes agressivos, como em cidades litorâneas.

3.2 A evolução do conhecimento sobre corrosão no aço carbono

Paralelamente ao desenvolvimento do esporte, houve avanços significativos na engenharia de materiais para classificar a taxa de corrosão de metais. Em 1992, foi publicada a norma ISO 9223¹⁰, que visa classificar os requisitos de proteção para reduzir as perdas de materiais em ligas de aço carbono devido à corrosão ambiental, relacionadas ao tipo de atmosfera a que os materiais estão expostos.

Esses ambientes, classificados como rural, urbano, industrial ou marinho, apresentam diferentes níveis de agressividade devido à presença de contaminantes como salinidade, poeira e gases corrosivos. O conhecimento dessas classificações é crucial não apenas para a construção civil

e infraestrutura urbana, mas também para garantir o planejamento adequado em relação à durabilidade esperada do aço empregado em diversas estruturas do nosso dia a dia, como viadutos, passarelas e até mesmo em ancoragens de escalada. Assim, a escalada pode se beneficiar diretamente desses estudos para melhorar a escolha de materiais e técnicas de instalação, garantindo a longevidade e segurança das vias.

A evolução desse entendimento foi possibilitada por extensos trabalhos de pesquisa (Mazzella, 2019; Slamova, 2012), que contribuíram para o mapeamento global das classes de corrosão, que variam de C1 (menos agressiva) a CX (extrema). A Figura 3 ilustra essas classes, conforme publicado pela EDI¹¹, e a Tabela 1 apresenta os dados sobre a taxa de corrosão para as diferentes classes.

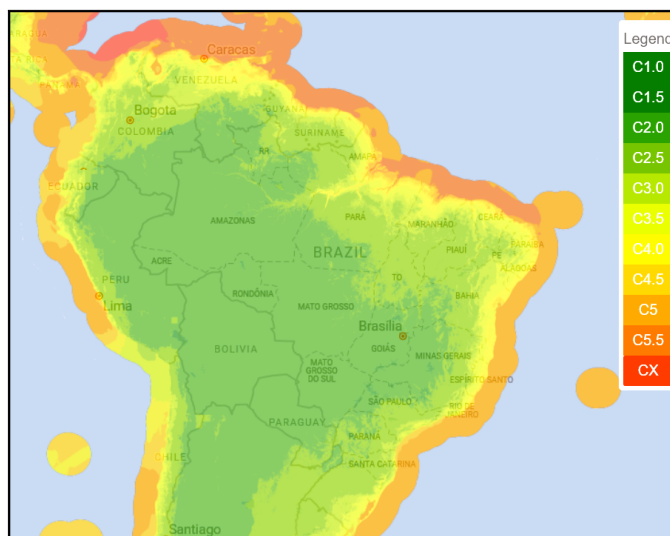


Figura 3: Ilustração em escala de cores das classes de corrosão para o aço carbono conforme ISO 9223 com aplicação de dados pela pesquisa da EDI.

Tabela 1: Classificação dada pela ISO 9223 quanto à taxa de corrosão no aço carbono.

Classe	Taxa de corrosão para o aço carbono
C1	< 1,3 μm / ano
C2	1,3–25 μm / ano
C3	25–50 μm / ano
C4	50–80 μm / ano
C5	80–200 μm / ano
CX	> 200 μm / ano

3.3 Diversidade das classes de corrosão no Brasil

Com base nas classes de corrosão definidas pela ISO 9223 e na pesquisa de Sica et al. (2007), que utiliza a região Norte do Brasil como referência, pode-se estimar que, devido à dimensão continental do país, há uma grande variabilidade nas classes de corrosão. Em cidades litorâneas, as classes

¹⁰ISO 9223:2012 Corrosion of metals and alloys — Corrosivity of atmospheres — Classification, determination and estimation, Published (Edition 2, 2012).

¹¹Disponível em: <https://www.engineeringdirector.com/iso9223-c1-x>
Acesso em: 08 de out. de 2024.

tipicamente variam entre C3 e C5, enquanto nas regiões interiores, em geral, situam-se entre C1 e C2.

Em ambientes com classificação inferior à classe C3, a taxa de corrosão é significativamente menor, permitindo maior longevidade das ancoragens em aço carbono. No entanto, em ambientes com classificação C5, a perda de material por corrosão pode atingir até 200 μm (0,2 mm) por ano, resultando em uma perda acumulada de aproximadamente 2 mm em 10 anos, o que é significativo e inadequado para ancoragens em aço carbono.

Esses efeitos são corroborados pela frequência de reformas observadas em várias vias na cidade do Rio de Janeiro. É importante notar que certos elementos na composição do material podem acelerar a corrosão ou proteger o material, e esses aspectos serão abordados na sequência do artigo.

3.4 Desafios no mapeamento da taxa de corrosão

O mapeamento da taxa de corrosão do aço carbono ainda oferece uma visão macro, com uso limitado na escalada, especialmente em zonas costeiras, urbanas ou com microclimas (Santana et al., 2019). Essa abordagem é incompleta para a análise de efeitos localizados (Tidblad et al., 2002), que podem variar significativamente em curtas distâncias dentro da mesma localidade. Por exemplo, na cidade do Rio de Janeiro, diferentes faces de rochas costeiras apresentam variações nos agentes corrosivos, resultando em algumas ancoragens sofrendo uma taxa de corrosão acelerada, enquanto outras resistem por anos com mínima perda de material.

Resumo da Seção 3

O aço carbono foi inicialmente escolhido para ancoragens por seu baixo custo e acessibilidade. No entanto, sua resistência à corrosão varia significativamente de acordo com o ambiente. Avanços na engenharia de materiais e normas como a ISO 9223 possibilitaram a classificação da corrosividade em diferentes atmosferas, auxiliando na proteção contra perdas materiais. Vias de escalada podem existir em todas as classes de corrosão, de C1 a C5. Ainda assim, mapear a taxa de corrosão permanece um desafio, especialmente em ambientes urbanos e litorâneos, onde variações locais podem impactar significativamente a durabilidade das ancoragens.

4 Uso do aço carbono nas ancoragens

4.1 O início do uso de grampos 'P'

Com uma fabricação simples e um excelente histórico de resistência mecânica, os grampos 'P' (ver figura 4) desempenharam um papel fundamental no desenvolvimento da escalada no Brasil desde as primeiras décadas. Eles foram amplamente adotados devido à facilidade de produção local, especialmente em um mercado com limitada capaci-

dade de importação de soluções utilizados em países onde a escalada já estava mais avançada.

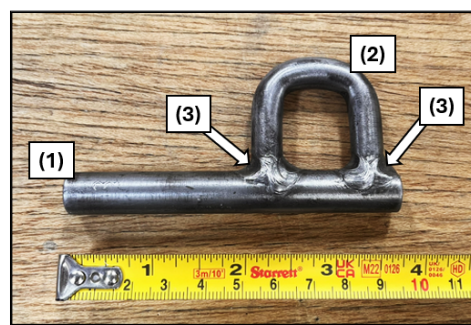


Figura 4: Esquema de grampo 'P' em aço carbono, destacando: (1) tarugo, (2) olhal, (3) solda. Informações sobre o fabricante, a composição da liga e o procedimento de soldagem não estão documentadas.

Esse tipo de ancoragem se assemelha aos pitons¹², especialmente ao modelo conhecido como *drill piton*, ou piton para furo (ver figura 5), adaptando-se às características específicas das rochas brasileiras, como a predominância do granito.



Figura 5: Piton e piton para furo do catálogo da marca Stubai, com início de produção por volta de 1960.

Como discutido, o grampo 'P' requer a perfuração da rocha e o martelamento completo para sua fixação. A eficácia da instalação depende da precisão na tolerância entre o furo e o tarugo, da resistência da rocha e da maleabilidade do aço carbono, garantindo firmeza por meio da interferência mecânica entre o metal e a rocha. Essa forma de instalação foi empregada de maneira semelhante em outros países, principalmente no passado, quando materiais fabricados e testados conforme padrões de qualidade eram escassos e caros, o que exigia soluções criativas e artesanais.

Atualmente, grampos 'P' em bom estado, com forma e época sabidamente de qualidade consolidada, devem ser preservados e poupados de reformas, pois são um importante legado de uma época específica da escalada. No entanto, a fabricação artesanal dessas ancoragens resultou em variabilidades no processo e na ausência de registros técnicos formais sobre o fabricante, os materiais ou os processos de soldagem utilizados. Essa falta de documentação

¹²Pitons são ancoragens metálicas inseridas em fendas naturais da rocha e marteladas até ficarem firmemente presas. No entanto, o martelamento e a extração repetida de pitons danificam a rocha; por essa razão, seu uso caiu em desuso e é evitado sempre que possível.

dificulta a análise detalhada dos materiais empregados e pode gerar riscos ocultos, que só se tornam evidentes décadas mais tarde. Por isso, hoje, esse tipo de solução artesanal, em aço carbono e com fixação por interferência, pode ser substituído por alternativas mais flexíveis e seguras para os diversos tipos de rocha, como será apresentado mais adiante no artigo.

4.2 Popularização do aço carbono SAE 1020

No Brasil, o aço SAE¹³ 1020 (laminado a frio em barra redonda) é um dos aços de baixa liga mais comuns e amplamente utilizados na indústria de base, principalmente devido ao seu custo acessível. Esse aço é informalmente reconhecido como o escolhido para a fabricação de ancoragens na forma de grampos 'P'.

O termo "informalmente reconhecido" é utilizado justamente porque, como já mencionado, não há marca, fabricante ou modelo que ofereça essa informação com a devida documentação. Além disso, a simples compra de aço SAE 1020 no mercado não garante que a liga adquirida corresponda exatamente às especificações. Aços de baixo custo raramente passam por uma análise química no momento do recebimento, tampouco possuem certificação de composição rastreável até a usina de origem. Isso pode resultar em materiais com níveis de contaminantes acima dos limites aceitáveis estabelecidos pela norma.

É razoável afirmar que a escolha do aço SAE 1020 para a fabricação dos grampos "P" em baixa escala, por pequenos fabricantes não industriais, se deve não apenas ao seu baixo custo e ampla disponibilidade, mas também ao fato de que seu baixo teor de carbono proporciona boa soldabilidade, sem a necessidade de processos industriais complexos. Além disso, essa liga apresenta boa ductilidade, ou seja, a capacidade de se deformar plasticamente sem se romper, o que permite que o grampo 'P' absorva a energia de quedas severas deformando, em vez de romper de forma catastrófica. A combinação desses fatores faz do SAE 1020 uma opção amplamente disponível e adequada para aquisição em pequenos lotes por fabricantes não industriais.

No entanto, essa liga metálica pode apresentar uma significativa margem para impurezas. A composição química do aço SAE 1020 é caracterizada por 0,18–0,23% de carbono (C), 0,30–0,60% de manganês (Mn), até 0,040% de fósforo (P) e até 0,050% de enxofre (S). Fósforo e enxofre são considerados impurezas, sendo que o enxofre, em particular, tende a formar inclusões de sulfeto de ferro durante o processo de solidificação. Essas inclusões podem servir como locais de nucleação¹⁴ para corrosão localizada, acelerando o processo corrosivo geral (Fontana, 1996).

Devido à baixa quantidade de elementos de liga voltados para resistência à corrosão e à ampla tolerância para impurezas, o aço SAE 1020 é suscetível à rápida degradação por oxidação (ferrugem). Além disso, seu uso típico em aplicações industriais não críticas resulta em que

a composição química raramente é analisada pelo fabricante que recebe a matéria-prima, aumentando a possibilidade de lotes com impurezas ou fora do padrão mínimo de qualidade.

Essa combinação de fatores torna o aço SAE 1020, assim como outros aços carbono sem elementos de liga específicos para combater a corrosão, uma escolha pouco adequada para ancoragens de longa duração. Diversos casos de grampos 'P' que necessitam de substituição após um processo corrosivo avançado corroboram essa afirmação. Embora o tempo para que a corrosão comprometa a segurança possa variar, a corrosão inevitavelmente ocorrerá.

Determinar o momento exato em que uma ancoragem deixa de ser segura é extremamente incerto, especialmente porque a taxa de corrosão depende fortemente das condições ambientais. Essa variabilidade torna ainda mais difícil prever quando a integridade da ancoragem será comprometida (Alcantara et al., 2017).

❶ Esclarecimento: Esta análise foi baseada na experiência com grampos 'P' de aço carbono. No entanto, outros tipos de ancoragens, como chapas fixadas por parafusos simples ou de expansão, também foram amplamente utilizados em áreas de grande desenvolvimento da escalada, como na Califórnia, nos EUA. Pesquisas extensivas e testes experimentais analisaram os efeitos da corrosão nessas alternativas de fixação (Heyliger et al., 2024), mas este artigo foca exclusivamente no desempenho do aço carbono no uso de grampos 'P'.

4.3 Desafios na rastreabilidade dos materiais

A aplicação de aço carbono em ancoragens revela disparidades na taxa de corrosão, influenciadas tanto pelo ambiente de instalação quanto pela composição da liga metálica. Analisar a taxa de corrosão com efeitos localizados é desafiador, especialmente quando as classes da ISO 9223 podem variar significativamente apenas mudando-se a face da montanha. A complexidade aumenta com ancoragens de fabricação artesanal, nas quais a ausência de registros industriais dificulta a avaliação da qualidade e durabilidade, sobretudo quando produzidas sem controle adequado dos processos de soldagem ou recebimento de materiais.

Em um cenário ideal, os fabricantes de ancoragens deveriam fornecer dados detalhados de seus processos industriais, como a realização da Identificação Positiva de Material (*Positive Material Identification* – PMI)¹⁵ antes do início da fabricação, ou apresentar certificados químicos do material com rastreabilidade completa até a origem. Esse padrão é amplamente adotado em indústrias que lidam com materiais críticos.

Garantir a rastreabilidade das ligas metálicas utilizadas na fabricação de ancoragens permitiria que análises de falhas, sejam elas mecânicas ou por corrosão, fossem realizadas de forma adequada (Golightly, 2015). Sem essa rastreabilidade, os custos associados a tais análises seriam

¹³SAE International, antigamente Society of Automobile Engineers.

¹⁴O processo de nucleação para corrosão localizada inicia-se quando uma pequena área na superfície metálica começa a corroer devido a imperfeições, variabilidades na composição ou contaminantes.

¹⁵A Identificação Positiva de Material (*Positive Material Identification* – PMI) é um método de análise utilizado para determinar a composição de ligas metálicas imediatamente antes do processo de industrialização, mitigando o risco de falhas de identificação ou desvios/troca de materiais.

praticamente inacessíveis para clubes e federações que não dispõem de recursos para realizar análises químicas laboratoriais das ancoragens após reformas.

4.4 Possível uso accidental de aço carbono de melhor qualidade em grampo 'P'

O aço SAE 1020, como outros aços carbono de baixa liga, é suscetível à corrosão, especialmente devido à presença de impurezas. Por isso, é essencial investigar a composição das ancoragens antigas de vias hoje tidas como clássicas, especialmente aquelas que demonstraram uma resistência superior à corrosão.

Entre 1910 e 1970, antes da padronização de normas como a SAE J403¹⁶, que especifica a composição do SAE 1020, entre outras ligas, é possível que as ancoragens tenham sido fabricadas com materiais contendo maior quantidade de elementos de liga e menos impurezas. Esses fatores podem ter contribuído para uma durabilidade superior, algo que o SAE 1020, com sua composição de baixa liga, não seria capaz de atingir nas mesmas condições.

Materiais de qualidade superior podem ter sido utilizados acidentalmente, a partir de componentes industriais disponíveis na época. Assim, essas ancoragens, mesmo produzidas de forma artesanal e sem um planejamento explícito quanto à escolha do material, poderiam durar décadas em ambientes de baixa agressividade, especialmente se contivessem elementos como o cobre na liga. A adição de cobre, mesmo em pequenas quantidades (Fontana, 1996), pode favorecer a formação de uma pátina protetora, uma camada que se desenvolve naturalmente e cria uma barreira contra agentes corrosivos, prolongando a durabilidade da ancoragem.

Outro fator relevante é que o uso frequente de vias clássicas desse período pode ter contribuído para remover detritos que favorecem o início da corrosão localizada, criando um ciclo positivo entre o uso constante e o bom estado de preservação das ancoragens.

❶ Ponto de Atenção: A durabilidade observada em ancoragens antigas não pode ser completamente explicada sem uma análise mais aprofundada dos materiais utilizados, das condições de fabricação e das exatas condições ambientais durante o uso. Atualmente, as evidências são baseadas em dados limitados sobre as condições específicas desses materiais e seu desempenho ao longo do tempo. Assim, uma investigação mais detalhada é necessária para avaliar a real contribuição desses materiais para a durabilidade superior de algumas ancoragens.

4.5 Análise de casos de sucesso e fracasso na longevidade

Dando continuidade à análise das ancoragens mais antigas e sua durabilidade, e excluindo os casos de danos estruturais causados por soldagem (mais sobre isso adiante), é crucial distinguir entre os casos de sucesso e fracasso na longevidade das ancoragens em aço carbono.



Figura 6: Exemplos de uma região litorânea no Rio de Janeiro. **a)** Grampo 'P' em perfeito estado, com pátina e estabilidade à oxidação, instalado em rocha sem vegetação, face norte, no Parque Nacional da Tijuca (altura 850m), foto de julho de 2024. **b)** Grampo 'P' deteriorado por corrosão, em rocha litorânea na Prainha, Rio de Janeiro, foto de outubro de 2009.

4.5.1 Casos de sucesso

A combinação de aço carbono de adequada qualidade com microambientes favoráveis pode resultar em uma longevidade surpreendente para as ancoragens. Exemplos positivos incluem locais onde a combinação de baixa umidade, vegetação escassa, boa exposição ao sol, altura em relação ao nível do mar e proteção contra ventos marinhos cria condições ideais. Essas condições podem prolongar em muito a vida útil das ancoragens, como ilustrado na Figura 6a.

4.5.2 Casos de fracasso

Replicar esses casos de sucesso é desafiador devido à variabilidade da liga metálica e das condições ambientais. A corrosão das ancoragens não é uniforme, sendo afetada por muitos fatores, como visto em (Jeong et al., 2013). Uma liga de alta qualidade pode durar em condições secas e quentes, enquanto outra, exposta à umidade, sombreamento ou agentes corrosivos urbanos, pode deteriorar rapidamente, como ilustrado na Figura 6b. Compreender os mecanismos de corrosão e sua inibição é essencial para definir os limites do uso de aços carbono em diferentes ambientes (Dwivedi et al., 2017). Assim, a complexidade dos mecanismos e a variabilidade ambiental indicam que o uso intensivo de aços carbono em ancoragens fixas não é recomendável.

4.6 Riscos da soldagem mesmo em ancoragens em aço carbono

Como discutido anteriormente, a fabricação artesanal de ancoragens pode resultar na ausência de processos documentados, como rastreabilidade de materiais no início da fabricação, armazenamento adequado de eletrodos de solda, aferição de máquinas de solda e atenção geral ao processo de produção, representando um risco significativo.

Um exemplo notável de falha é o caso dos grampos 'P' de aço carbono na via Estranhos no Ninho (FEEMERJ, 2016). Durante uma reforma para atualização, realizada antes que sinais visíveis de degradação aparecessem, foi revelada a fragilidade desses grampos (Figura 7). Este incidente levanta sérias dúvidas sobre a capacidade desses grampos

¹⁶Society of Automotive Engineers. SAE J403: Chemical Compositions of SAE Carbon Steels. 1st issue 1941.

de suportar quedas em outras vias que utilizam grampos semelhantes da mesma época. A subseção 2.4 explora o conceito de falhas versus quedas em vias tradicionais, e como a capacidade desses grampos de suportar as cargas necessárias pode permanecer oculta por décadas.

Este exemplo destaca a necessidade urgente de informações essenciais, como minimamente a marca do fabricante, para garantir a rastreabilidade do produto. A ocultação da marca do fabricante não é mais aceitável, pois impede a identificação da origem do produto e todo processo de análise de abrangência da falha, quase como se o fornecedor quisesse se manter oculto.

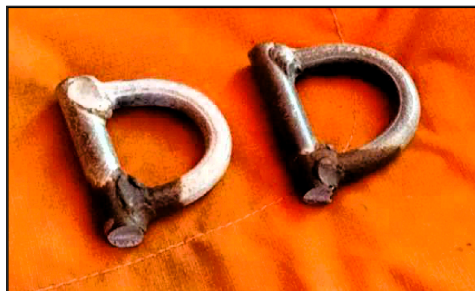


Figura 7: Grampo 'P' com sinais de fratura frágil da via *Estranhos no Ninho* de 1987, localizada no Pico da Tijuca, Rio de Janeiro, Brasil. Extraído de: FEEMERJ - Informe sobre a fragilidade em grampos na via Estranho no Ninho de 2016.

Mesmo na fabricação industrial, os processos de soldagem continuam a representar um risco adicional. Embora os casos registrados de falhas sejam raros, eles existem. Atualmente, a Comissão de Segurança da UIAA trabalha para ampliar o conhecimento aplicado às normas de ancoragens, incluindo os aspectos da soldagem no processo de qualificação dessas proteções.

4.7 A persistência do aço carbono em ancoragens e os impactos ambientais na rocha

Conforme discutido anteriormente, o expressivo aumento no número de vias de escalada e a crescente necessidade de manutenção devido à corrosão das ancoragens ressaltam a urgência de buscar soluções mais duradouras e com resistência comprovada à corrosão.

Subprodutos da corrosão das ancoragens de aço carbono podem infiltrar-se nas fissuras da rocha, alterando para sempre sua aparência. Esse processo não só impacta negativamente a preservação dos locais de escalada, mas também leva ao debate do passivo ambiental da degradação adicional.

A manutenção constante das vias de escalada demonstra que a integridade das ancoragens de aço carbono é inevitavelmente comprometida com o tempo (May et al., 2016). Embora existam casos em que ancoragens de aço carbono tenham resistido à corrosão por décadas em áreas de baixa agressividade, essa longevidade é difícil de prever, dada a variabilidade das condições ambientais e a vulnerabilidade inerente do material.

A evolução da escalada trouxe alternativas mais resistentes à corrosão, como ancoragens de aço inoxidável e

titânio, que aumentam significativamente a durabilidade e ajudam a preservar as rochas. Essas soluções evitam os cenários de degradação causados por instalações anteriores em mau estado, como ilustrado na figura 8, e reduzem a frequência de intervenções ambientais, contribuindo para a sustentabilidade das vias de escalada.



Figura 8: Grampo 'P' corroído e danificado para evitar seu uso. Data da manutenção desconhecida. Local: via *Reinaldo Behnken*, 1984, Urca, Rio de Janeiro, Brasil. Foto do autor setembro de 2024.

Resumo da Seção 4

O uso de aço carbono em ancoragens apresenta desafios significativos relacionados à corrosão e à rastreabilidade. Embora o aço SAE 1020 seja popular devido ao baixo custo e à facilidade de soldagem, sua suscetibilidade à corrosão e a variabilidade na qualidade são preocupantes. A fabricação artesanal sem registros técnicos formais aumenta ainda mais as incertezas no processo. Para garantir a segurança e a durabilidade, é crucial compreender as propriedades dos materiais, considerar as condições ambientais e aprimorar as práticas de fabricação.

5 Aplicação de materiais resistentes à corrosão ambiental

5.1 A Introdução do aço inoxidável

A utilização do aço inoxidável baseia-se em sua notável resistência à corrosão, que é atribuída à formação de uma camada passivadora protetora composta principalmente por óxidos de cromo. Esta camada se desenvolve naturalmente na superfície do aço quando exposto ao oxigênio atmosférico, criando uma barreira que impede o contato direto dos agentes corrosivos com o material da ancoragem, como ilustrado na Figura 9.

A resistência à corrosão do aço inoxidável foi inicialmente explorada para atender à necessidade de durabilidade nas ancoragens. O uso predominante começou com o aço inoxidável austenítico AISI¹⁷ 304, selecionado inicialmente sem critérios rigorosos quanto à adequabilidade dessa liga metálica.

¹⁷Sigla em inglês para American Iron and Steel Institute.

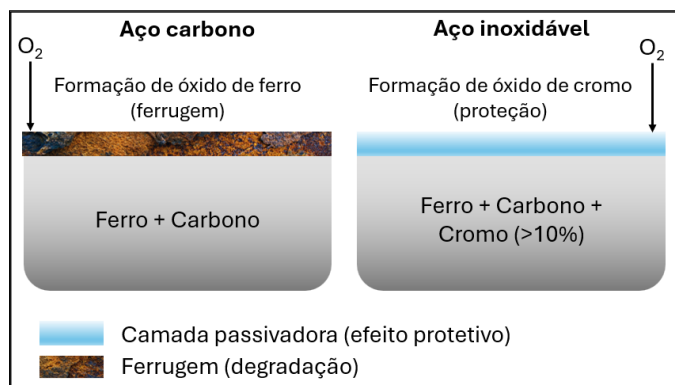


Figura 9: Ilustração dos mecanismos de corrosão no aço carbono e da formação de camada passivadora no aço inoxidável.

Embora o aço inoxidável da série AISI 304 seja resistente à corrosão geral, ele ainda pode sofrer corrosão por pite (*pitting corrosion*), uma forma localizada de corrosão que ocorre quando pequenas cavidades ou pites se formam na superfície do metal. Isso acontece geralmente devido a falhas na camada passivadora, permitindo a penetração de agentes corrosivos e causando danos concentrados e profundos na área afetada.

Além disso, o AISI 304 também pode ser suscetível à fragilização por corrosão sob tensão (*stress corrosion cracking*, ou SCC), que é a falha súbita de metais dúcteis submetidos a estresse em ambientes corrosivos. Apesar dessas vulnerabilidades, essas questões não eram preocupações significativas nas condições ambientais da escalada em rocha durante as primeiras décadas de uso do AISI 304, já que sua evolução em relação ao aço carbono representava um avanço considerável.

Nota: Ligas como o AISI 304 e AISI 316 possuem variações com menor teor de carbono para facilitar o processo de soldagem, indicadas pelo sufixo L, como AISI 316L. Em termos de processos corrosivos e para simplificação neste artigo, a variante L será omitida, referindo-se apenas como AISI 316, mesmo que o material base utilizado possa ser a variante 316L.

5.2 O primeiro caso de fragilização por corrosão sob tensão (SCC) ambiental

À medida que o esporte se expandia por diferentes zonas ambientais, a escalada enfrentou seu primeiro caso de fragilização por corrosão sob tensão (SCC) ambiental. O incidente, conhecido como o caso da Tailândia, ocorreu em 2004, envolvendo inicialmente uma ancoragem instalada uma década antes (Sjong & Eiselstein, 2008). Neste caso, o material AISI 316 foi escolhido devido à sua maior resistência à corrosão geral em comparação ao AISI 304, que já se mostrava limitado para o severo ambiente litorâneo. A composição da liga, sob efeito dos agentes corrosivos, combinada com as tensões mecânicas da fabricação e instalação das ancoragens, resultou na relatada falha por SCC nas ancoragens em AISI 316, como ilustrado pela combinação de fatores da Figura 10.

Atualmente, estudos para mapear áreas costeiras sobre forte influência corrosiva são conduzidos principalmente

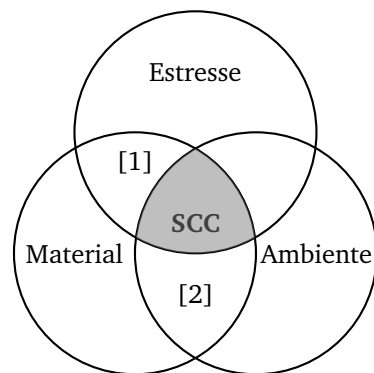


Figura 10: Diagrama de Venn representando interações entre Material, Ambiente e Estresse. Material: composição, tratamento térmico, microestrutura, condição da superfície, resistência. Ambiente: composição, temperatura. Estresse: residual de fabricação, de montagem, de serviço. [1] Material + Estresse: degradação mecânica do material. [2] Material + Ambiente: corrosão do material.

através da análise de falhas, como pela UIAA no projeto *SafeCom: Fixed anchors needed for testing*¹⁸ e do monitoramento de ancoragens instaladas fora da linha da via, marcadas para estudos de longa duração (Burda, 2018). Esses dados são compilados e publicados no site da UIAA como ilustrado na Figura 11, permitindo a implementação de melhorias específicas em cada setor.

5.3 Desafios e falhas técnicas na soldagem de ancoragens em aço inoxidável

Durante a fase crítica de investigação sobre o risco SCC visto na Tailândia, foi identificada uma falha técnica significativa na soldagem de ancoragens de aço inoxidável em vias de escalada na zona costeira de Guaratiba, no Rio de Janeiro.

A principal evidência dessa falha foi a ocorrência de sensibilização¹⁹, que comprometeu tanto a resistência mecânica quanto a resistência à corrosão das ancoragens. Como consequência, houve um incidente de rompimento de uma ancoragem em 2009, sem danos ao escalador, seguido de um grave acidente em 2011, ambos ocorridos na mesma zona costeira de Guaratiba. Este episódio de falha foi um marco que impulsionou o uso do titânio no Brasil, descrito no *Guia de Escaladas de Guaratiba* de André Ilha (Ilha, 2012), tópico que será abordado mais adiante no artigo.

Como lição para a escalada, a experiência adquirida na indústria de soldagem de aços inoxidáveis demonstra que falhas desse tipo podem ser evitadas com a capacitação adequada dos profissionais e a correta qualificação dos procedimentos. Essas são práticas amplamente adotadas em indústrias especializadas e poderiam ser aplicadas de

¹⁸Disponível em: [SafeCom: Fixed anchors needed for testing](#). Acesso em: 08 out. 2024

¹⁹A sensibilização ocorre em aços inoxidáveis quando aquecidos a temperaturas entre 450 e 850 °C, resultando na precipitação de carbonetos de cromo nos contornos dos grãos. Esse processo compromete a formação da camada passivadora protetora, tornando o aço vulnerável à corrosão intergranular.

forma semelhante no contexto da instalação de ancoragens.

5.4 Avanços na aplicação dos aços inoxidáveis e a revisão sobre corrosão da UIAA 123 para a V4

Diante dos citados casos de falhas e desafios associados ao uso do aço inoxidável, o entendimento dos mecanismos específicos de corrosão tornou-se uma preocupação central para a comunidade de escaladores, especialmente em ambientes litorâneos e em outras áreas sujeitas à influência de agentes corrosivos. Nessas regiões críticas, conhecidas pela elevada concentração de agentes corrosivos e umidade, os processos de corrosão são significativamente acelerados, comprometendo severamente a longevidade das ancoragens fixas. Esses casos ressaltam a necessidade urgente de uma abordagem mais rigorosa e sistemática para mitigar o risco de corrosão das ancoragens.



Figura 11: Mapa de falhas por corrosão disponibilizado pela UIAA. Acesso em 16/06/2024 www.theuiaa.org/identifying-the-worlds-corrosion-locations.

Por esses casos de falhas, foi então empreendido um grande esforço pela Comissão de Segurança (SafeCom) da UIAA, composta por especialistas da área representando as federações nacionais (incluindo o próprio autor), fabricantes e laboratórios de teste credenciados. O objetivo foi estudar os mecanismos de corrosão, e os resultados desse trabalho foram apresentados (Lieberzeit et al., 2019). O resumo em forma de carta aberta à comunidade foi publicado em 14 de dezembro de 2020²⁰.

❗ Importante: O trabalho realizado pela SafeCom permitiu validar, em laboratório, um novo padrão de teste de corrosão em ambiente controlado. Este padrão mede, além das cargas máximas de ruptura, a resistência à corrosão das ancoragens, sempre avaliadas como um produto acabado. Este estudo aprofundou o entendimento sobre os agentes corrosivos e possibilitou a definição das classes de corrosão, conforme indicado na Tabela 2.

Nesta versão 4 da UIAA 123, não há mais uma especificação indicativa de código ou tipo de material a usar, como existia nas edições anteriores da norma. Essa mudança decorre da extensa pesquisa empreendida por (Prosek et al., 2019) que revela que definir classes de corrosão apenas pelo tipo de material não é pertinente ou suficiente para a segurança e longevidade da ancoragem. Por exemplo, algumas ancoragens feitas de ligas de baixa resistência à SCC (por exemplo, AISI 316) poderiam passar nos testes, enquanto outras ancoragens feitas de material de alta resistência à SCC, como o 904L, que seria intrinsecamente resistente (Xu et al., 2024), não passariam no mesmo teste. Isso ocorre principalmente devido às variações de formas, soldagem, mudanças da estrutura metalográfica do aço, pela conformação a frio e pelas tensões residuais do processo de fabricação e instalação usado por cada fabricante.

5.5 Padrões de testes e considerações críticas para ancoragens resistentes à corrosão

Independentemente do ambiente, existe hoje conhecimento suficiente para instalar ancoragens com plena capacidade de superar a longevidade esperada de 50 anos defendida pela federações representadas pela UIAA, incluindo nossa CBME. No entanto, como destacado na Tabela 2, em ambientes salinos ou com agentes agressivos presentes na rocha, essa meta depende da completa tolerância ao SCC.

Por isso, a resistência da camada passivadora que gera a tolerância ao SCC devem ser avaliadas em testes específicos conforme descritos na norma UIAA 123 V4. Isso envolve a avaliação combinada das propriedades da liga metálica, com os estresses mecânicos residuais provenientes da fabricação e da instalação da ancoragem.

A análise da combinação de tensões mecânicas com o ambiente corrosivo, especialmente com a presença de cloretos, como o sal marinho ou dissolvidos na rocha, é crucial para prevenir a SCC. A Tabela 3, traduzida da Tabela 2 da UIAA 123 V4, detalha os testes previstos para cada classe de corrosão. A ilustração de uma ancoragem certificada é apresentada na Figura 12.

5.6 O Titânio e a resistência à SCC

Desde a década de 1960, o titânio tem se destacado como um dos materiais mais resistentes à SCC, conforme demonstrado por estudos científicos da época (Beck & Blackburn, 1968). Suas propriedades superiores—como alta resistência à corrosão, durabilidade excepcional e excelente relação custo-benefício ao longo da vida útil—fazem deste material uma escolha estratégica para ambientes adversos, a exemplo das condições encontradas na Tailândia.

No Brasil, a introdução do titânio como solução para ambientes de alta corrosividade ocorreu em Guaratiba, no Rio de Janeiro. Esse marco foi documentado no artigo *A Introdução dos Grampos de Titânio no Brasil* (Ilha & Freitas, 2012). Em setembro de 2011, a iniciativa liderada por André Ilha resultou na reforma e atualização de dezenas de vias de escalada, utilizando ancoragens de titânio pela

²⁰Disponível em: [UIAA updates Standard 123: Rock Anchors](https://uiaa.org/updates/Standard%20123%20Rock%20Anchors). Acesso em: 08 out. 2024.

Tabela 2: No documento original, esta tabela é apresentada como Tabela 1 na UIAA 123 V4. Aqui, a apresentamos como Tabela 2, traduzida para nosso contexto, onde: - SCC: Stress Cracking Corrosion (fragilização por corrosão sob tensão). - GC: General Corrosion (corrosão geral). - LC: Low Corrosion (baixa corrosão).

Classes	Significado	Resistência SCC	Resistência Corrosão Geral	Características Ambientais	Considerações Importantes
SCC	Alta resistência à SCC e à corrosão geral.	Alta.	Alta.	SCC em evidência, por exemplo (mas não só): alta concentração de cloreto, temperatura acima de 30 °C, umidade entre 20% e 70%, sal marinho e/ou outros sais de cloreto e/ou ambiente ácido.	Embora a SCC seja comumente associada as falésias à beira-mar, ela também pode ocorrer no interior e em outros locais, por exemplo, piscinas cobertas.
GC	Resistência à corrosão geral.	Nenhuma ou não especificado.	Alta.	Nenhuma SCC em evidência e nenhuma suspeita, alguns agentes de corrosão.	—
LC	Baixa resistência à corrosão.	Nenhuma ou não especificado.	Média.	Nenhuma SCC em evidência e nenhuma suspeita.	Ancoragens em academias internas e próximo de áreas industriais, piscinas ou o mar podem exigir o uso de ancoragens classe SCC.

Tabela 3: No documento original, esta tabela é apresentada como Tabela 2 na UIAA 123 V4. Aqui, a apresentamos como Tabela 3, traduzida para nosso contexto.

Classe	Resistência à corrosão sob tensão (SCC)	Resistência à corrosão geral	Teste requerido para corrosão geral	Teste requerido para SCC
SCC	De alta a imune	Alto	4 semanas MSST ASTM B117 [2]	1 semana ASTM G36 [3]
GC	Não especificado	Alto	4 semanas MSST ASTM B117 [2]	Nenhum
LC	Não especificado	Médio	4 semanas NSST ASTM B117 [1]	Nenhum

Notas da Tabela 3:

[1] Teste de Névoa Salina Neutra (NSST) conforme a ASTM B117^a.

[2] Teste de Névoa Salina Modificado (MSST) com 5% de CaCl₂ (cloreto de cálcio).

[3] Teste ASTM G36^b com ancoragens instaladas de maneira a simular as condições de serviço, ou seja, incluindo o estresse de instalação.

^aASTM B117-19 Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus.

^bASTM G36-94(2000) Standard Practice for Evaluating Stress-Corrosion-Cracking Resistance of Metals and Alloys in a Boiling Magnesium Chloride Solution.

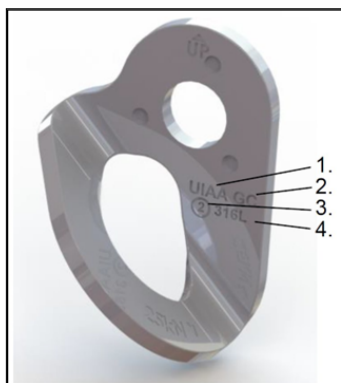


Figura 12: Ilustração de ancoragem com marcação da UIAA na classe GC, onde: 1. (UIAA) mostra que o produto está certificado de acordo com o padrão de segurança da UIAA. 2. (GC) Corrosão geral (a classe de corrosão do produto). 3. (2) Classe do material de acordo com a EN 959:2019 sendo 1, 2 ou 3. 4. (316L) Material de que o componente é fabricado, para informação apenas.

primeira vez no país. Financiada com recursos próprios e em uma escala pioneira para a época, a ação teve como objetivo principal aumentar a durabilidade e a segurança das ancoragens, especialmente em regiões costeiras sujeitas à corrosão severa, onde a alta umidade acelera a degradação dos materiais convencionais.

Com o avanço do conhecimento e a implementação de novas metodologias de testes laboratoriais, o titânio comprovou sua excelência em testes de resistência à SCC realizados de acordo com a norma UIAA 123. Esses testes, aplicados a produtos completos sob tensões de instalação, como chumbadores de expansão, confirmaram a superioridade do material. A Lappas Climbing, uma das primeiras fabricantes a obter certificação nessa categoria, validou essa solução com seu conjunto de chapeleta e chumbador Rhea Titan D10²¹.

Resumo da Seção 5

A utilização de aço inoxidável em ancoragens destaca-se pela sua resistência à corrosão, graças à formação de uma camada passivadora de óxidos de cromo. No entanto, ligas como o AISI 304, apesar de populares, apresentam vulnerabilidades à corrosão por pite e SCC, especialmente em ambientes litorâneos. O incidente na Tailândia em 2004 evidenciou a importância de considerar fatores ambientais e de estresse mecânico na escolha dos materiais. Avanços no uso de titânio e na revisão de padrões de teste, como a UIAA 123 v4, têm sido fundamentais para melhorar a durabilidade e a segurança das ancoragens.

6 Desafios adicionais

6.1 Riscos relacionados ao intemperismo

A segurança das ancoragens fixas em escalada depende diretamente tanto da resistência intrínseca da rocha em que são instaladas quanto de sua taxa de degradação ao longo do tempo. Estudos demonstram que, ao aplicar torques adequados em chumbadores de expansão, a capacidade de carga final das ancoragens é predominantemente determinada pela resistência da rocha. Por exemplo, em arenito, é recomendado um limite mínimo de resistência de 80 MPa para garantir o desempenho eficaz das ancoragens, conforme as diretrizes da UIAA-123. Rochas frescas ou pouco alteradas geralmente mantêm uma capacidade de carga dentro dos padrões recomendados, oferecendo condições seguras para a instalação.

Entretanto, em rochas moderadamente alteradas²², deve-se ter cautela na instalação de ancoragens. Rochas nos estágios de muito alteradas a completamente alteradas devem ser evitadas, pois não oferecem condições adequadas para a segurança da instalação de ancoragens fixas.

Neste contexto de análise da condição da rocha, vias em rochas 'podres', ou muito intemperizadas, embora possam ser escaladas, exigem atenção especial. Em algumas situações, ter uma proteção, mesmo instalada em condições menos ideais, pode ser melhor do que não ter nenhuma. Exemplos conhecidos incluem diferentes tipos de fixação na mesma via, como paradas com proteções químicas (adesivo) e proteções intermediárias com chumbador mecânico. A realização de estudos para a caracterização geológico-geotécnica da rocha, ou a consulta a levantamentos técnicos existentes, é extremamente útil para embasar decisões técnicas, compreender as condições locais e garantir que a capacidade de carga seja atendida de forma segura (Monticelli & Ribeiro, 2024). Estes métodos de instalação de proteções fixas serão discutidos mais adiante no artigo.

Além dos processos corrosivos já discutidos, a taxa de intemperismo da rocha é um fator crítico para a durabilidade das ancoragens fixas (Heyliger et al., 2024). Mesmo com ancoragens resistentes à corrosão, a degradação da rocha devido à exposição prolongada aos elementos pode comprometer a segurança das instalações. Portanto, é benéfico implementar um plano de gestão que considere as características da rocha, incluindo a realização regular de ensaios e testes de arrancamento, conforme citado na Seção 5.2, permitindo comparações contínuas com outras áreas de estudo. Esses tipos de ensaios vêm sendo conduzidos pela própria UIAA, bem como pela FEEMERJ no Rio de Janeiro e por outras federações, como o British Mountaineering Council (BMC). Esse plano assegura que a qualidade das ancoragens seja monitorada continuamente e que as instalações estejam em conformidade com as normas de

²¹Disponível em: <https://lappasclimbing.com/product/rhea-t-d10/>. Acesso em: 08 de out. de 2024.

²²Rochas alteradas sofreram ações dos processos intempéricos em alguma intensidade. Essa intensidade é usualmente traduzida em graus de alteração, que são geralmente classificados de três a cinco graus, variando de rocha sã ou fresca (alta resistência) até rocha completamente alterada (extremamente baixa resistência). Intemperismo (ou alteração) é o conjunto de modificações físico-químicas que resultam na degradação mecânica das rochas quando ficam expostas aos agentes intempéricos na superfície da Terra, como chuva, vento e variações de temperatura.

segurança da UIAA-123, especialmente no que diz respeito à carga última.

Em regiões de clima tropical, o potencial de degradação das rochas é ainda mais acentuado devido ao intemperismo agressivo, em comparação com climas temperados ou semiáridos. Portanto, em áreas tropicais, é essencial adotar cautela adicional na definição do método de instalação das ancoragens e no estabelecimento de intervalos de manutenção preventiva, especialmente quando se almeja uma vida útil superior a 50 anos.

6.2 Riscos de material falsificado

Recentemente, uma investigação na indústria aeronáutica revelou riscos significativos de falsificação de materiais, incluindo titânio, um componente crucial para a segurança. Segundo o *The New York Times* (Walker, 2024), grandes fabricantes como Boeing e Airbus enfrentam preocupações sobre a autenticidade do titânio utilizado em suas aeronaves, resultando em maior vigilância e rigor nos processos de certificação e controle de qualidade. "A Boeing reportou uma divulgação voluntária à F.A.A. sobre a aquisição de material por meio de um distribuidor que pode ter falsificado ou fornecido registros incorretos", afirmou o comunicado. A Boeing emitiu um boletim delineando maneiras pelas quais os fornecedores devem permanecer alertas para o potencial de registros falsificados.

Se até mesmo na indústria aeronáutica, conhecida por seus rigorosos padrões de qualidade e segurança, ocorrem casos de material falsificado, é alarmante imaginar os riscos potenciais na escalada, onde os controles podem ser menos rigorosos. A falsificação de materiais em ancoragens fixas pode levar a falhas catastróficas, colocando em risco a vida dos escaladores. Isso ressalta a importância de adquirir equipamentos de fornecedores confiáveis e certificados, além de realizar inspeções regulares e testes de qualidade para garantir a integridade dos materiais utilizados.

6.3 Risco de compras sem referência

Na aquisição de aço inoxidável austenítico da série 300, há um risco real de se encomendar AISI 304 (também conhecido como A-2²³) e receber AISI 303. O aço inoxidável AISI 303 pode parecer semelhante ao AISI 304, mas entre outras diferenças contém enxofre adicionado para aumentar a usinabilidade. Essa adição de enxofre diminui a resistência à corrosão do AISI 303 em comparação com o AISI 304; em certas aplicações, a usinabilidade extra compensa a redução na resistência à corrosão, mas em outras, como no caso de ancoragens fixas, essa redução pode ser crítica.

Esse uso de material inadequado resultou em um grave acidente (Filipak et al., 2023) em Itatim, Bahia, Brasil. A localização interiorana, distante de fontes típicas de agentes corrosivos, inicialmente sugeriu que os componentes da rocha poderiam ter contribuído para a falha de um chumbador instalado há aproximadamente 10 anos sob carga mínima. No entanto, após análise da fratura e pesquisa detalhada, o estudo revelou que a falha foi atribuída ao mecanismo conhecido de SCC, desencadeado pela presença

de água da chuva com alta concentração de íons no furo do chumbador. A composição do material, identificada como aço inoxidável AISI 303, foi apontada como o principal fator para a redução da resistência à corrosão ao longo do tempo.

A falha foi agravada pela presença de tensões residuais no chumbador, evidenciadas por sua alta dureza e a presença de martensita, resultantes de uma deformação significativa durante o processo de fabricação, sem tratamento térmico adequado. Essas tensões facilitaram a propagação de trincas, especialmente em conjunto com a presença de MnS (sulfeto de manganês). O SCC foi iniciado por corrosão sob fresta em um ambiente rico em cloretos, possivelmente pré-acidificado, e em uma temperatura superior à do ambiente, potencializada pela composição inadequada do material rico em MnS — um material que não deveria ter sido utilizado em aplicações onde a falha poderia colocar vidas em risco.

Este tipo de falha difere de outro caso ocorrido na Tailândia, onde o SCC foi atribuído às características da rocha. Em Itatim, não há evidências que sugiram a influência das propriedades da rocha ou de outro fator ambiental na falha. A principal causa foi a baixa qualidade do material utilizado, sem certificação ou rastreabilidade do fabricante.

Portanto, na escalada, é essencial adquirir ancoragens com máxima atenção, preferindo sempre fabricantes que investem na correta seleção do material, possuem certificação e identificam seus produtos de maneira clara e rastreável.

6.4 Desafios econômicos na instalação de ancoragens

A expansão global da escalada traz desafios significativos, especialmente em relação às ancoragens fixas, que podem ter um custo elevado para abertura e manutenção das vias. A longevidade dessas ancoragens nem sempre é priorizada, afetando a segurança e a sustentabilidade da escalada.

A corrosão das ancoragens é um problema que não pode ser resolvido por escaladores individuais, pois exige recursos que geralmente vão além das capacidades de uma única pessoa. O uso de ancoragens resistentes à corrosão e à SCC é ideal, ou até mesmo imprescindível, para garantir a segurança em certas áreas. No entanto, o alto custo e a disponibilidade limitada desses materiais representam desafios significativos. Escaladores que abrem vias frequentemente enfrentam restrições financeiras e, muitas vezes, hesitam em investir em materiais mais caros. Quando há recursos disponíveis, há uma tendência em optar por materiais mais duráveis, mas essa não é sempre a prática comum.

6.5 A necessidade de uma mudança de mentalidade: investimento em segurança e sustentabilidade

A comunidade de escaladores precisa compreender a importância de arcar com custos adicionais para garantir a durabilidade e a segurança das ancoragens que possibilitam a prática do esporte. No passado, muitos escaladores,

²³O AISI 304 é frequentemente referido como A-2 no sistema de classificação ISO 3506-1:2020 de aço inoxidável.

ao abrir novas vias ou reformar vias existentes, optavam por soluções mais econômicas, sem se preocupar com a longevidade das ancoragens ou com os danos potenciais à rocha. Entretanto, com a crescente conscientização sobre segurança e preservação do meio ambiente, essa mentalidade tem mudado.

Investir em ancoragens de qualidade exige um compromisso financeiro significativo, mas esse investimento é justificado pelos benefícios a longo prazo. A durabilidade aumentada e a diminuição dos acidentes tornam a escalada mais segura e sustentável. O custo inicial mais elevado das ancoragens resistentes é compensado pela maior longevidade, pela redução dos riscos de acidentes e pela preservação da rocha para as futuras gerações de escaladores. Este tema foi abordado em detalhes no documento *UIAA Climbing Anchors Update 2020* (UIAA, 2020), que discute os custos e desafios associados à manutenção e instalação de ancoragens na escalada, reforçando a importância do investimento em ancoragens adequadas para garantir a segurança e a sustentabilidade do esporte.

Resumo da Seção 6

Esta seção aborda os principais desafios relacionados à segurança e durabilidade das ancoragens fixas em escalada. Discute os riscos associados à resistência e intemperismo da rocha, destacando a importância de testes de arrancamento e gestão contínua, especialmente em regiões tropicais com degradação acelerada. Aborda também os perigos de falsificação de materiais e compras sem referência, exemplificados por falhas críticas com aço inoxidável inadequado. Enfatiza a necessidade de adquirir ancoragens certificadas e de alta qualidade, apesar dos custos elevados, para garantir a segurança a longo prazo e a sustentabilidade da escalada.

7 Um panorama sobre os métodos de instalação

7.1 Métodos de fixação

Existem duas maneiras predominantes e amplamente reconhecidas para a instalação de ancoragens fixas em rocha:

- Ancoragem química: utiliza adesivo químico de injeção para fixar completamente o tarugo dentro da rocha, oferecendo excelente resistência à corrosão e maior capacidade de carga, já que a distribuição de forças é mais uniforme ao longo do comprimento do tarugo (Figura 13a).
- Ancoragem mecânica por expansão: consiste em uma chapa metálica fixada por um chumbador de expansão de torque controlado (TCE, *Torque Controlled Expansion anchor*), onde a força é aplicada ao apertar o parafuso, fazendo com que o chumbador se expanda dentro do furo da rocha, criando um travamento mecânico (Figura 13b).

Cada uma dessas técnicas apresenta características específicas, como maior durabilidade e resistência à corrosão na ancoragem química, enquanto a ancoragem mecânica por expansão é mais fácil de instalar e remover em caso de necessidade.



Figura 13: a) Ancoragem com adesivo químico de injeção. b) Chapa fixada com chumbador de expansão por torque controlado.

7.2 Características

A instalação de ancoragens utilizando adesivos químicos de injeção (Figura 13a), como epóxi ou vinil éster, é considerada superior aos chumbadores de expansão por várias razões técnicas, embora não necessariamente por razões práticas (Cook et al., 2003). Os adesivos oferecem uma conexão mais forte e duradoura com a rocha, pois, ao serem injetados, penetram nos poros e microfissuras, criando uma aderência mecânica extremamente forte. Além disso, isolam completamente a parte da ancoragem inserida na rocha do contato com água, ar e outros elementos corrosivos.

Por outro lado, o chumbador de expansão (Figura 13b) permite uma instalação rápida e consistente, exigindo apenas atenção à qualidade do furo e à aplicação do torque recomendado. Esse método é eficiente em rochas com resistência suficiente para suportar as tensões de instalação. No entanto, a expansão do chumbador pode causar fissuras ou falhas na rocha, especialmente em rochas frágeis ou úmidas. Embora a maioria das escaladas ocorra em rochas com resistência de 50 MPa ou mais, em rochas mais fracas, o chumbador de expansão não é uma solução confiável, resultando inclusive em acidentes documentados (Law & Hawkshaw, 2012).

Diferentemente dos chumbadores de expansão, as ancoragens adesivas não geram tensões na rocha, possibilitando sua utilização em rochas frágeis, com a vantagem de permitir uma maior profundidade de inserção. No entanto, é crucial levar em conta o tempo de cura do adesivo. O epóxi puro geralmente requer cerca de 10 horas para curar completamente²⁴, enquanto o vinil éster atinge a cura em aproximadamente 45 minutos²⁵ a 25 °C. Esse tempo de cura pode ser um fator limitante no uso de ancoragens adesivas para a abertura de novas vias, pois aguardar a cura de cada ancoragem inviabiliza a progressão contínua. No entanto, essa solução é adequada para reformas, manutenções ou desenvolvimento de vias esportivas em falésias, quando adotada uma abordagem progressiva de cima para baixo, executada por etapas.

²⁴Fonte: ficha técnica Fischer FIS EM Plus resina epóxi.

²⁵Fonte: ficha técnica Fischer FIS VL resina vinil éster híbrida.

Diversos testes de longa duração estão em andamento, incluindo um importante teste em ambiente salino realizado pelo British Mountaineering Council (BMC), documentado na Technical Committee Note TCN 18/02. Como referência, uma revisão abrangente dos tipos de adesivos pode ser encontrada em (Pham & Marks, 2005).

7.3 Práticas recomendadas

7.3.1 Ancoragens com chumbadores de expansão

Esse método requer a inserção de um chumbador em um furo devidamente perfurado na rocha, seguido pela montagem da chapa e pelo aperto da porca, idealmente com uma chave de torque calibrada, conforme ilustrado na figura abaixo. O controle do torque é crucial para garantir que o chumbador fique firmemente instalado, evitando deformações no material ou ancoragens frouxas. Chumbadores de expansão são valorizados por sua simplicidade e eficiência em diversos tipos de rocha, mas exigem cuidados na escolha do comprimento de embutimento e durante a instalação para garantir a segurança e a durabilidade das ancoragens.

❗ Importante: Para ancoragens com chumbadores de expansão, recomenda-se o uso de uma chave de torque calibrada para garantir a instalação correta de acordo com os valores indicados pelo fabricante. Se não for possível utilizar uma chave de torque durante a instalação, é essencial realizar um treinamento prévio com a chave comum que será empregada, comparando o torque obtido com o da chave de torque em um ambiente controlado. Isso ajuda a evitar a deformação plástica do chumbador e a manter a tensão axial dentro de níveis adequados, prevenindo tanto o excesso de torque quanto a expansão incompleta do chumbador. Seguir essa prática assegura uma fixação eficiente da chapa na rocha. Lembre-se: sempre siga os valores de torque recomendados pelos fabricantes do chumbador ou do sistema de ancoragem.

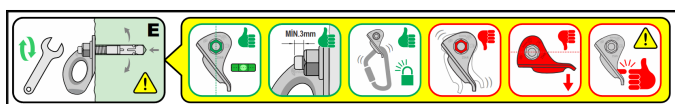


Figura 14: Fonte: Bonier, parte do manual da ancoragem PinGo. Acesso em 14/06/2024.

7.3.2 Ancoragens com adesivo químico

Neste método, um furo com diâmetro ligeiramente maior que o da ancoragem é perfurado na rocha. Após uma limpeza completa para remover poeira e detritos, o adesivo é aplicado com um dispensador específico. A ancoragem, que possui uma forma contínua, é inserida no furo preenchido com adesivo. À medida que o adesivo cura, cria uma fixação extremamente forte com a rocha, sendo especialmente útil em rochas frágeis ou quando se deseja uma solução sem partes móveis.

Uma vantagem desse método é que o adesivo distribui a carga de forma uniforme e sela completamente o furo, protegendo-o do ambiente. No entanto, a instalação requer um tempo de cura mais longo, o que impede o uso imediato

para escalada, além de exigir habilidade técnica e rigor na aplicação para garantir a cura adequada.

❗ Importante: Para ancoragens com adesivo químico, a qualidade da instalação depende diretamente do preparo adequado do furo, da limpeza correta, da coordenação precisa do tempo de aplicação e do manuseio apropriado do dispensador. É fundamental buscar capacitação junto ao fornecedor da ancoragem, além de obter orientações de profissionais especializados. Também é crucial garantir o uso correto dos equipamentos de proteção individual e o descarte apropriado dos resíduos gerados durante o processo.

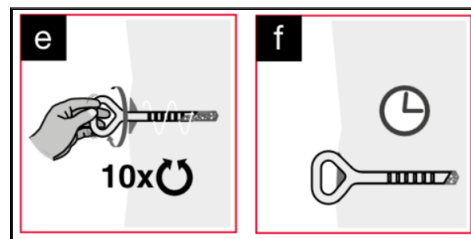


Figura 15: Fonte: FIXE, etapas finais (e) e (f) da parte do manual da ancoragem Ref.: V30400. Acesso em 14/06/2024.

8 Aplicação das classes de corrosão definidas pela UIAA-123

8.1 A meta de durabilidade

Como previamente discutido, a durabilidade de uma ancoragem pode e deve superar 50 anos, refletindo o compromisso de todas as federações representadas pela UIAA com a segurança e a preservação das rochas das vias de escalada.

Uma carta aberta à comunidade, intitulada *Safe Bolts That Last a Century!* (em tradução livre: Ancoragens seguras que durem um século!), publicada em 2024 pela UIAA, reforça essa necessidade²⁶.

O conhecimento sobre as classes de corrosão em diferentes ambientes é essencial para assegurar a longevidade das ancoragens, sendo crucial a adoção de práticas adequadas tanto na seleção quanto na instalação dos materiais.

Durante a escalada, é crucial estar atento a sinais que comprometam a segurança. Se algo afetar a integridade da via, comunique imediatamente o responsável pela manutenção — seja o autor, clube ou federação local. A colaboração na identificação e correção de problemas contribui para um ambiente seguro e sustentável para todos os escaladores.

❗ Importante: Como regra fundamental de segurança, nunca combine componentes avulsos de ancoragens, como chumbadores, porcas e arruelas provenientes de compras diferentes ou avulsas, especialmente se forem feitos de metais distintos dos especificados pelo fabricante. Isso

²⁶Disponível em: [UIAA TO THE CLIMBING COMMUNITY](https://www.uiaguide.com/en/communities/2024/06/01/safe-bolts-that-last-a-century/). Acesso em: 08 de out. de 2024.

pode comprometer a integridade da ancoragem e promover a corrosão galvânica²⁷.

8.2 Sobre as classes de corrosão

8.2.1 Classe SCC (Corrosão Sob Tensão)

Em locais onde a fragilização por corrosão sob tensão (SCC) é comum e documentada, somente utilize ancoragens certificadas da classe SCC da UIAA 123. Em situações de dúvida, em áreas com incidência rara de SCC, ou em locais onde haja suspeita de SCC, mas não documentada, sempre opte por esta classe de certificação mais alta. Na ausência de acesso a ancoragens certificadas para a classe SCC, o grampo de titânio dobrado e sem solda para instalação com adesivo químico de injeção é reconhecido como a melhor opção.

8.2.2 Classe GC (Corrosão Geral)

Em ambientes com a presença de agentes corrosivos, como atmosfera salina, mas que reconhecidamente estão isentos de casos de SCC, a classe GC da UIAA 123 pode ser aplicada.

8.2.3 Classe LC (Baixa Corrosão)

Em ambientes rurais interiores, distante do litoral e de centros urbanos, onde os agentes corrosivos são mínimos, a classe LC da UIAA 123 pode ser aplicada. Contudo, é crucial considerar sempre os custos em relação aos benefícios de escolher a classe GC.

8.3 Mantendo a rastreabilidade

Recomenda-se que os autores de vias, ao instalarem as primeiras proteções ou ao realizarem reformas para manutenção, mantenham um registro detalhado do tipo de ancoragem e da data de instalação. Isso servirá para criar uma cultura de revisão de histórico e rastreabilidade. Essa informação pode ser atualizada no croqui da via conforme necessário, um exemplo é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Exemplo sugerido de legenda de croqui com símbolo e ano entre parênteses.

Símbolo (ano):	Descrição completa:
●(24)	Grampo Lappas Arrow Ti 880 (SCC) e Adesivo Walsywa WQE 500
⊙(22)	Chapeleta Bonier PinGo 304L e Chumbador Walsywa WB 304 3/8" x 3.3/4", chave 15 mm.

9 Conclusão

Apesar dos avanços nos padrões de qualidade, desafios significativos ainda persistem em relação à longevidade das ancoragens. Esses desafios surgem da dualidade entre a

disponibilidade de ancoragens de comprovada qualidade e as limitações impostas pelas escolhas e habilidades técnicas dos instaladores, tanto na manutenção quanto na abertura de novas vias de escalada.

Para superar essas limitações, é essencial investir em treinamento especializado para instalação, adotar as melhores técnicas disponíveis, e definir planos de monitoramento do envelhecimento das ancoragens, sempre alinhados com a estimativa de taxas de intemperismo da rocha. Além disso, é importante colaborar com federações para obter fundos destinados à aquisição de materiais modernos e avançados para ancoragens. A meta de uma durabilidade mínima de 50 anos deve ser encarada apenas como um ponto de partida; como sociedade, podemos e devemos fazer mais para garantir a segurança e a longevidade das ancoragens. A busca por soluções mais eficazes e inovadoras é fundamental para enfrentar os desafios persistentes e promover um futuro mais seguro e sustentável na escalada, minimizando também o impacto sobre as rochas.

Futuras pesquisas

Este artigo destaca a necessidade de mais estudos em diversas áreas, como os efeitos do envelhecimento das ancoragens devido à corrosão ambiental, o impacto do intemperismo na resistência das rochas, o desenvolvimento de aplicações com materiais mais resistentes à corrosão, o aprimoramento de técnicas avançadas de instalação e uma compreensão mais aprofundada dos impactos ambientais das ancoragens em diferentes ecossistemas.

Sobre o autor



Pratico escalada e montanhismo desde os 20 anos, e agora, aos 46, sigo envolvido com o esporte, que se tornou uma parte essencial da minha vida. Sou formado em engenharia industrial mecânica, com especialização em engenharia de petróleo, e ao longo de mais de 25 anos de carreira, tive a oportunidade de trabalhar no desen-

volvimento de equipamentos para o setor de óleo e gás, com foco em ambientes desafiadores, especialmente os que envolvem corrosão em plataformas de exploração de petróleo e refinarias. Sempre busquei integrar minha paixão pelo montanhismo com minha vida profissional. Tive o privilégio de atuar como diretor técnico e presidente do Clube Excursionista Carioca, uma organização dedicada à escalada e ao montanhismo no Rio de Janeiro. Atualmente, ocupo interinamente a diretoria técnica da FEEMERJ - Federação de Esportes de Montanha do Estado do Rio de Janeiro e sou membro do Conselho Técnico da CBME - Confederação Brasileira de Montanhismo e Escalada. Desde 2020, represento o Brasil na Comissão de Segurança da UIAA - União Internacional das Associações de Alpinismo, onde colaboro na revisão de normas de equipamentos, com foco na segurança, especialmente em ancoragens fixas.

²⁷Processo eletroquímico em que dois metais diferentes, em contato com um eletrólito, aceleram a corrosão do metal menos nobre.

Declaração de ausência de conflito de interesse

Declaro que não há conflito de interesse neste artigo. As análises e conclusões são imparciais e não foram influenciadas por nenhuma relação financeira ou pessoal.

Declaração de responsabilidade pelas opiniões

As opiniões que compartilho neste artigo são minhas e não refletem necessariamente a posição ou política das organizações com as quais estou envolvido.

Revisões e aprimoramentos

As alterações descritas nesta seção não necessariamente corrigem erros no texto original, mas refletem revisões e aprimoramentos destinados a melhorar a clareza, precisão e contextualização das informações. Abaixo, as mudanças estão listadas por tipo.

Em 27/12/2024:

• Alterações terminológicas:

- Na Seção 6.1, o termo “É crucial” foi substituído por “é extremamente útil”.
- Na mesma seção, o termo “fundamental” foi substituído por “benéfico”.

• Adições ao texto:

- Na Seção 6.1, foi incluído o trecho: “Neste contexto de análise da condição da rocha, vias em rochas ‘podres’, ou muito intemperizadas, embora possam ser escaladas, exigem atenção especial. Em algumas situações, ter uma proteção, mesmo instalada em condições menos ideais, pode ser melhor do que não ter nenhuma. Exemplos conhecidos incluem diferentes tipos de fixação na mesma via, como paradas com proteções químicas (adesivo) e proteções intermediárias com chumbador mecânico. Estes métodos de instalação de proteções fixas serão discutidos mais adiante no artigo.”
- Também foi adicionado: “Esses tipos de ensaios vêm sendo conduzidos pela própria UIAA, bem como pela FEEMERJ no Rio de Janeiro e por outras federações, como o British Mountaineering Council (BMC).”

• Citações adicionais:

- Na Seção 6, foi incluída a citação (Heyliger et al., 2024).

Em 10/03/2025:

• Alterações terminológicas:

- Na Seção 7, o termo “epóxi acrilato” foi ajustado simplesmente por “vinil éster” em alinhamento com o termo técnico usado pela maioria dos fornecedores.

Referências

- Alcantara, J., Fuente, D., Chico, B., Simancas, J., Díaz, I., & Morcillo, M. (2017). Marine Atmospheric Corrosion of Carbon Steel: A Review. *Materials*, 10. <https://doi.org/10.3390/ma10040406>
- Association, O. I. (2023). Outdoor Participation Trends Report. <https://www.outdoorindustry.org>
- Beck, T. R., & Blackburn, M. J. (1968). Stress corrosion cracking of titanium alloys. *AIAA Journal*, 6(2), 326–332. <https://doi.org/10.2514/3.4497>
- Bedogni, V., & Manes, A. (2011). A constitutive equation for the behaviour of a mountaineering rope under stretching during a climber's fall [11th International Conference on the Mechanical Behavior of Materials (ICM11)]. *Procedia Engineering*, 10, 3353–3358. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.proeng.2011.04.553>
- Burda, I. (2018, julho). *Ensaio de extração de ancoragens fixas - URCA - Rio de Janeiro* (Segurança e Técnica em Montanhismo N. FEMERJ-STM-2018-02). <https://feemerj.org/wp-content/uploads/FEMERJ-STM-2018-02.pdf>
- Cook, R., Burt, J., & Ansley, M. (2003). Design guidelines and specifications for engineered grouts.
- Dwivedi, D., Lepkova, K., & Becker, T. (2017). Carbon steel corrosion: A review of key surface properties and characterization methods. *RSC Advances*, 7, 4580–4610. <https://doi.org/10.1039/C6RA25094G>
- FEEMERJ. (2016). *Informe sobre a fragilidade em grampos na via Estranho no Ninho* (rel. técn.) (Pico da Tijuca, Rio de Janeiro, Brasil). <https://feemerj.org/wp-content/uploads/FEMERJ-STM-2016-01-informe-fragilidade-em-grampos-na-via-estranho-no-ninho-.pdf>
- Filipak, D. J., Burda, I. G., Bernardelli, E. A., Bongioiolo, A. B. S., Lima, P. C., & Campos, Y. M. (2023). Stress corrosion cracking failure of inland 303 stainless steel anchor bolt: Bolt and rock characteristics influence. *Boletim Paranaense de Geociências*, 81. <https://doi.org/10.5380/geo.v81i1.96108>
- Fontana, M. G. (1996). *Corrosion Engineering* (3rd). McGraw-Hill.
- Golightly, D. (2015). Positive material identification (PMI): Why it's so important. *Materials Performance*, 54(7), 42–45.
- Heyliger, P. R., Matteson, K., & Lankford, R. (2024). On the failure and replacement of weathered rock climbing bolts. *Engineering Failure Analysis*, 155. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107741>
- Ilha, A. (2012). *Guia de Escaladas de Guaratiba* (2ª edição). Companhia da Escalada.
- Ilha, A., & Freitas, M. (2012). A Introdução dos Grampos de Titânio no Brasil [Atualizado em 16/10/2012].

- https://feemerj.org/wp-content/uploads/a_introducao_dos_grampios_de_titanio_no_brasil.pdf
- Jeong, Y., Kainuma, S., & Ahn, J. (2013). Assessment of the corrosion characteristics of carbon steel under different atmospheric environments. *Advanced Materials Research*, 684, 116–119. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.684.116>
- Law, M., & Hawkshaw, S. (2012). Examination of a rock-climbing fatality caused by equipment failure. *Engineering Failure Analysis*, 22, 21–27. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2011.12.003>
- Lieberzeit, J., Prosek, T., Jarvis, A., & Kiener, L. (2019). Atmospheric stress corrosion cracking of stainless steel rock climbing anchors: Part 1. *Corrosion*, 75. <https://doi.org/10.5006/3227>
- May, M., Furlan, S., Mohrmann, H., & Ganzenmüller, G. C. (2016). To replace or not to replace? — An investigation into the residual strength of damaged rock climbing safety equipment. *Engineering Failure Analysis*, 60, 9–19. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2015.11.036>
- Mazzella, J. (2019). *Corrosion Science and Engineering*. Springer.
- Monticelli, J. P., & Ribeiro, R. P. (2024). Rock anchor testing on sandstone from the Botucatu Formation, Paraná River Basin, Brazil: Insights for climbing safety procedures at the Corumbataí Geopark Project. *Engineering Geology*, 341, 107698. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2024.107698>
- Pham, H. Q., & Marks, M. J. (2005). Epoxy resins (B. Elvers, S. Hawkins & G. Schulz, Ed.). 13, 182.
- Prosek, T., Lieberzeit, J., Jarvis, A., & Kiener, L. (2019). Atmospheric stress corrosion cracking of stainless steel rock climbing anchors, part 2: Laboratory experiments. *Corrosion*, 75(11), 1371–1382. <https://doi.org/10.5006/3242>
- Santana, J. J., Ramos, A., Rodriguez-Gonzalez, A., Vasconcelos, H. C., Mena, V., Fernández-Pérez, B. M., & Souto, R. M. (2019). Shortcomings of international standard ISO 9223 for the classification, determination, and estimation of atmosphere corrosivities in subtropical archipelagic conditions—The case of the Canary Islands (Spain). *Metals*, 9(10). <https://doi.org/10.3390/met9101105>
- Sica, Y. C., Kenny, E. D., Portella, K. F., & Campos Filho, D. F. (2007). Atmospheric corrosion performance of carbon steel, galvanized steel, aluminum and copper in the North Brazilian coast. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 18(1), 153–166.
- Sjong, A., & Eiselstein, L. (2008). Marine atmospheric SCC of unsensitized stainless steel rock climbing protection. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 8(5), 410–418. <https://doi.org/10.1007/s11668-008-9158-1>
- Slamova, K. (2012). Mapping atmospheric corrosion in coastal regions: Methods and results. *Journal of Photonics for Energy*, 2, 022003. <https://doi.org/10.1117/1.JPE.2.022003>
- Tidblad, J., Kucera, V., Mikhailov, A. A., & Knotkova, D. (2002). Improvement of the ISO classification system based on dose-response functions describing the corrosivity of outdoor atmospheres. *ASTM Special Technical Publication*, 73–87.
- UIAA. (2020). UIAA updates Standard 123: Rock Anchors. <https://www.theuiaa.org/uiaa-updates-standard-123-rock-anchors/>
- Walker, M. (2024). F.A.A. investigating how questionable titanium got into Boeing and Airbus jets. *The New York Times*.
- Xu, D., Zhang, X., He, X., Liu, C., Liu, Z., Zhang, X., Zhao, M., & Li, X. (2024). Mechanism and evaluation method of stress corrosion susceptibility of 904L stainless steel with optimized structure in seawater. *Corrosion Science*, 229, 111865. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2024.111865>