



FÁBRICA CARIOCA  
DE CATALISADORES

# Momento Técnico

DICAS DOS ESPECIALISTAS

## Otimização do aditivo de antimônio e soluções catalíticas para passivação de níquel



**Indira Gonçalves**  
Engenheira de Serviços Técnicos  
FCC S.A.



**Tiago Coelho**  
Consultor de Estratégia e Inteligência  
de Mercado  
FCC S.A.

**JUNHO**  
2026





## Introdução

Em cenários de instabilidade geopolítica com repercussões econômicas globais, refinarias tendem a intensificar estratégias voltadas à maximização da produção, otimização de processos, controle de custos e aumento da rentabilidade. Nesse contexto, alterações no elenco de petróleos processados tendem a tornar-se mais frequentes, resultando em mudanças na composição da carga das unidades de craqueamento catalítico fluidizado (UFCC).

Dentre os principais contaminantes metálicos presentes nos petróleos, destacam-se o níquel (Ni), o vanádio (V), o ferro (Fe) e o sódio (Na). Variações nas concentrações desses metais e nas características do petróleo exigem monitoramento contínuo da qualidade da carga, sendo papel da engenharia de processo atuar proativamente para mitigar impactos na unidade e no catalisador.

Embora o níquel não promova degradação da estrutura cristalina da zeólita, como ocorre com o vanádio, sua elevada atividade desidrogenante pode causar impactos operacionais significativos impondo restrições associadas ao compressor de gases, levando à redução de carga processada e exigindo diminuição da severidade operacional. Para mais informações sobre os impactos do níquel no desempenho da UFCC acesse o momento técnico FCCS.A.: *"O H<sub>2</sub> e seus impactos no desempenho da UFCC"*<sup>[1]</sup>.

## OTIMIZAÇÃO DO ADITIVO DE ANTIMÔNIO E SOLUÇÕES CATALÍTICAS PARA PASSIVAÇÃO DE NÍQUEL

### 1. Aditivos para passivação de Ni

Uma das estratégias utilizadas para a mitigação dos efeitos do níquel é a injeção de aditivos passivadores, sendo os mais comuns à base de antimônio (Sb) ou, em menor escala, bismuto (Bi). Na prática industrial, predomina o uso de soluções contendo pentóxido de antimônio ( $Sb_2O_5$ ) devido à sua maior eficiência de passivação. Já compostos à base de bismuto são usados como alternativa ao antimônio, em função dos potenciais riscos ocupacionais e ambientais associados a esse elemento [2].

Operacionalmente, o controle da dosagem desse aditivo é crítico. A injeção inadequada pode comprometer tanto o desempenho operacional quanto os custos da unidade. Quando dosado em excesso, o antimônio tende a migrar preferencialmente para a corrente de fundo da fracionadora principal, podendo provocar:

- **Perdas financeiras** associadas à dosagem não otimizada;
- **Aumento da taxa de deposição de coque no fundo da fracionadora principal**, especialmente nos trocadores de calor: o antimônio presente no óleo decantado atua como catalisador de reações secundárias, favorecendo à formação de compostos pesados que tendem a se depositar nas tubulações do sistema de fundo;
- **Aumento da deposição de coque no reator e no riser**: Relatos operacionais indicam ocorrência de formação de “pedras de coque”, associadas a altos teores de antimônio;
- **Envenenamento do catalisador de hidrotratamento (HDT)**: O antimônio pode ser arrastado para correntes de hidrotratamento e promover a desativação de catalisadores Co-Mo e Ni-Mo, afetando diretamente as reações de hidrodessulfurização (HDS) e hidrodessnitrogenação (HDN) [3];
- **Impacto ambiental e na combustão**: pode provocar aumento nas emissões de NOx e SOx e interferir no desempenho de promotores de combustão.

Um aspecto relevante é que o excesso de antimônio não é detectável através da análise do e-cat, pois sua fixação no catalisador depende da presença de níquel disponível para formação de complexos. Na ausência de níquel disponível para a reação, o antimônio migra para a corrente de fundo.

Indicadores práticos de sobredosagem:

- Mantendo a concentração de Ni na carga constante, efetuar aumento da dosagem do aditivo e verificar se houve aumento no teor de Sb do e-cat. Se isso não ocorrer, indica sobredosagem e que não há mais níquel disponível para reagir com o antimônio;
- Realizar análise de antimônio no óleo decantado periodicamente. Se a dosagem for controlada, não é esperado que se encontre quantidades significativas desse metal nessa corrente.

### 2. Cálculo da dosagem de solução de antimônio

Para evitar os problemas causados pelo excesso de aditivo, deve-se calcular a quantidade necessária de antimônio para reagir com o níquel, de forma a manter o equilíbrio das reações, sem excessos. Para o cálculo da injeção ótima desse aditivo é importante considerar os seguintes fatores:

- **Teor de níquel na carga**: a solução de antimônio sempre deve ser adicionada em função da quantidade de níquel na carga. A razão ótima de dosagem corresponde a uma relação Sb/Ni de 0,3 a 0,5 no e-cat [2];
- **Presença de trapa de níquel no catalisador**: catalisadores com tecnologia de passivação de níquel, como os da FCC S.A., reduzem a necessidade de aditivo de antimônio e a razão Sb/Ni indicada passa a ser de 0,1 a 0,2;
- **Retenção do antimônio**: a eficiência de deposição do antimônio no catalisador depende da composição da solução e do método de injeção. A retenção do antimônio no catalisador é de 75 a 85%, sem o reciclo do óleo decantado no riser. Se a unidade praticar o reciclo, a retenção geralmente sobe para 90% [2]. O fabricante costuma indicar qual é a retenção do seu produto, geralmente se utiliza 85%, porém é recomendado que cada usuário calcule a sua retenção real;
- **Concentração da solução**: a quantidade de antimônio na solução é fundamental para o cálculo e é fornecida pelo fabricante. Sempre que ocorrer mudança de fornecedor é importante conferir a concentração e alterar no cálculo. As concentrações geralmente variam de 17 a 30%.

Fórmula para o cálculo da vazão de solução de antimônio em L/d:

$$Q_{sb} (L/d) = \frac{\dot{m}_{carga} \times Ni_{carga} \times \frac{Sb}{Ni}}{1000 \times \eta_{sb} \times C_{sb} \times \rho_{sb}}$$

Onde:

$\dot{m}_{carga}$  = Vazão mássica de carga em t/d;

$Ni_{carga}$  = Concentração de níquel na carga em ppm;

$\frac{Sb}{Ni}$  = Razão conforme teoria, de 0,1 a 0,5;

$\eta_{sb}$  = Retenção da solução de antimônio (de 0,65 a 0,85);

$C_{sb}$  = Concentração mássica da solução de antimônio (de 0,17 a 0,30);

$\rho_{sb}$  = Densidade da solução de antimônio em kg/L.

O valor calculado deve sempre ser validado e ajustado com base nas respostas das variáveis operacionais da unidade, principalmente: concentração de  $H_2$  no gás combustível, formação de coque e relação Sb/Ni no e-cat.

### 3. Considerações no uso de aditivos passivadores de Níquel

- Há evidências de que a presença de cloro pode levar à reativação de espécies oxidadas de níquel, aumentando os rendimentos de coque e hidrogênio da unidade [4]. Esse fato reforça que o acompanhamento e controle do cloro na carga é essencial também para minimizar os efeitos do níquel na UFCC;

## OTIMIZAÇÃO DO ADITIVO DE ANTIMÔNIO E SOLUÇÕES CATALÍTICAS PARA PASSIVAÇÃO DE NÍQUEL

- O antimônio reage com a platina presente nos promotores de combustão à base de Pt, reduzindo sua eficiência. Portanto, em unidades que utilizam promotores de combustão platinados, pode ser necessária uma dosagem maior de promotor para manter o controle do *afterburning*;
- Segundo a literatura, o uso de antimônio é geralmente vantajoso em unidades que possuam concentração de níquel no e-cat acima de 1000ppm [2]. No entanto, a indicação de uso envolve outras variáveis sendo uma delas a qualidade do catalisador empregado. Além disso, a manutenção da qualidade do inventário através da reposição de catalisador virgem e o uso de catalisadores com trapa de níquel na composição reduzem a necessidade de aditivo de antimônio de forma significativa.

### 4. Tecnologia de passivação de níquel nos catalisadores FCC S.A.

Denominam-se “trapas de níquel” os componentes incorporados à formulação do catalisador com o objetivo de suprimir a atividade desidrogenante do níquel. Os catalisadores da FCC S.A. possuem, em sua formulação, uma trapa de níquel de alto desempenho denominada ADM-60, cuja concentração pode ser ajustada conforme as necessidades específicas de cada unidade.

O mecanismo de ação ocorre por meio da formação de estruturas do tipo espinélio, nas quais o níquel reage com a matriz do catalisador, formando aluminato de níquel ( $\text{NiAl}_2\text{O}_4$ ), uma fase cristalina estável do tipo espinélio (Figura 1). Em condições operacionais típicas de FCC, também é comum a formação da fase não estequiométrica  $\text{Ni}_x\text{Al}_{2-3+x}\text{O}_{3+x}$ . Essas interações ocorrem preferencialmente sob elevadas temperaturas do regenerador, em atmosfera oxidante (680–730 °C). Devido à elevada estabilidade termodinâmica dos compostos espinélicos, sua redução à fase metálica  $\text{Ni}^0$  é significativamente dificultada nas condições do riser, caracterizadas por atmosfera redutora e temperaturas entre 500–550 °C. Como consequência, observa-se maior tolerância do catalisador à contaminação por níquel, com redução significativa da atividade desidrogenante associada a esse contaminante. Esse comportamento tem sido reportado na literatura por meio de análises de redução à temperatura programada (TPR).

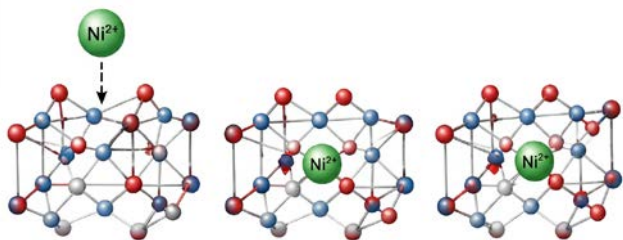


Figura 1 - Formação da estrutura tipo espinélio.  
Fonte: Banco de dados FCC S.A.

Esta abordagem de trapa (formação de estrutura espinélica) é superior quando comparada a outras abordagens de passivação, como aquelas baseadas na adsorção por interação ácido-base de Lewis (Figura 2). Nesse modelo, o cátion  $\text{Ni}^{2+}$  (ácido de Lewis) é retido por interações de coordenação com sítios básicos da matriz do catalisador, como grupos superficiais, comumente a base de  $\text{MgO}$  ou  $\text{La}_2\text{O}_3$  [5]. Embora essa interação limite a mobilidade e a sinterização do níquel, a estabilidade das espécies formadas é consideravelmente inferior à do espinélio: nas condições redutoras do riser, atmosfera rica em hidrocarbonetos e hidrogênio a 500–550 °C, o  $\text{Ni}^{2+}$  adsorvido pode ser parcialmente reduzido a  $\text{Ni}^0$  metálico, espécie altamente ativa para reações de desidrogenação. Dessa forma, embora o modelo ácido-base de Lewis reduza a mobilidade e a sinterização do níquel, sua eficácia na supressão da atividade desidrogenante é inferior àquela proporcionada pelo modelo espinélio, no qual o níquel é incorporado em uma estrutura cristalina termodinamicamente estável e de difícil redução.

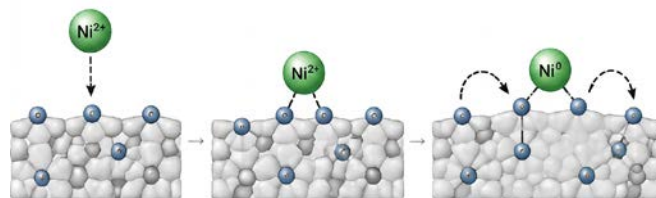


Figura 2 - Modelo de adsorção ou ligação ácido-base Lewis  
Fonte: Banco de dados FCC S.A.

Para exemplificar a efetividade da passivação de níquel dos catalisadores da FCC S.A., na Tabela 1 estão os resultados relacionados a esse assunto de uma avaliação de catalisador com 80% de troca de inventário de um catalisador de outro fabricante para o UPGRADER™ que contém passivador de Ni na formulação.

	Catalisador Base	UPGRADER	DELTA
Ni equivalente (ppm)	3000	4260	42% ↑
$\text{H}_2/\text{CH}_4$ (%mol)	0,74	0,63	-15% ↓

Tabela 1 - Resultado da avaliação do UPGRADER™  
Fonte: Banco de dados FCC S.A.

O catalisador da FCC S.A. quando comparado com o catalisador base, apresentou expressiva redução na relação  $\text{H}_2/\text{CH}_4$ , mesmo com aumento da quantidade de níquel equivalente, indicando um melhor desempenho do produto, que contém a tecnologia de passivação de níquel ADM-60 da FCC S.A. Além do UPGRADER™, tecnologias como DENALI® e SaFeGuard™ também foram desenvolvidas para processamento de cargas pesadas e possuem elevada resistência a metais.

## OTIMIZAÇÃO DO ADITIVO DE ANTIMÔNIO E SOLUÇÕES CATALÍTICAS PARA PASSIVAÇÃO DE NÍQUEL

### Considerações finais

A passivação de níquel por meio da injeção de antimônio é uma importante ferramenta para reduzir os efeitos do níquel nas unidades de UFCC, especialmente em cenários de processamento de cargas mais contaminadas. No entanto, sua aplicação exige controle rigoroso, uma vez que a sobredosagem pode resultar em impactos operacionais significativos, além de perdas econômicas. Por isso, recomenda-se a revisão periódica do cálculo da dosagem e o ajuste da adição do produto.

Adicionalmente, o uso de catalisadores com tecnologias de passivação incorporada representa uma estratégia eficaz e consolidada para reduzir a dependência de aditivos, aumentar a robustez operacional e melhorar a rentabilidade do processo. Para obtenção do máximo desempenho dos catalisadores, é importante preservar a qualidade do inventário através da reposição ótima e contínua de catalisador virgem.

A FCC S.A., por meio de sua equipe de Serviços Técnicos, oferece suporte completo às refinarias na avaliação, otimização e maximização do desempenho de unidades de UFCC. Nossas soluções contemplam, por exemplo, estudos de dosagem de antimônio e balanço de metais além de análise constante da adequação da formulação do catalisador alinhada aos desafios e objetivos operacionais específicos de cada unidade.

### REFERÊNCIAS

1. GUTIERREZ, Isis; DIAMANTE, Eliza. *Momento Técnico FCC S.A. – O H<sub>2</sub> e seus impactos no desempenho da UFCC*. Março de 2026. Disponível em: [O H<sub>2</sub> e seus impactos no desempenho da UFCC](#). Acesso em: 12 maio 2026.
2. SADEGHBEIGI, Reza. *Fluid Catalytic Cracking Handbook: An Expert Guide to the Practical Operation, Design, and Optimization of FCC Units*. 2. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2000.
3. VOGT, Kaspar. *AFPM Q&A – Albemarle*. 2011, Disponível em: <https://www.afpm.org/print/pdf/node/42756>. Acesso em: 18 maio 2026.
4. SENTER, Corbett, et al. *Role of chlorides in reactivation of contaminant nickel on fluid catalytic cracking (FCC) catalysts*. Applied Catalysis A: General, Volume 611, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926860X20305718>. Acesso em: 27 agosto 2025.
5. YU QI, Qianqian LIU; ZHENYU CHEN, yuxia zhu; YAN CHEN, Haitao Song; BAIQIAN DAI, Lian Zhang. *Nickel-Passivating element selection in FCC process and mechanistic study on the passivation of nickel by lanthanum and phosphorus*. Chemical Engineering Journal, Volume 467, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894723021836>. Acesso em: 28 maio 2026.

## Conheça o nosso Momento Técnico

Dentro do Portal FCC Connect, **Momento Técnico** é a linha editorial que reúne dicas operacionais de nossos especialistas, estudos, resultados de testes em unidades da FCC, soluções catalíticas inovadoras e muito mais.

**CLIQUE AQUI**

### Sobre a Empresa

A Fábrica Carioca de Catalisadores S.A. é uma empresa de tecnologia de ponta, com sede no Rio de Janeiro, formada pela associação das empresas Petrobras S.A. e Ketjen. Única fabricante de catalisadores de craqueamento catalítico e aditivos para o refino de petróleo no mercado sul-americano, tem como clientes consumidores as refinarias do Sistema Petrobras, bem como refinarias de petróleo de países da América do Sul.

**Para mais informações, entre em contato com a equipe de Serviços Técnicos da FCC S.A.**

Rua Nelson da Silva, 663 - Distrito Industrial de Santa Cruz  
CEP: 23565-160 - Rio de Janeiro - RJ - Brasil  
[www.fccsa.com.br](http://www.fccsa.com.br)