

## Gestão do controle avançado da área de refino da Petrobras

Luís G. S. Longhi\*, Lincoln F. L. Moro\*\*,  
Antônio C. Zanin\*\*\*, Marcus V. O. Magalhães\*\*\*\*

\*Refinaria Alberto Pasqualini, REFAP/PPO/OT, Av. Getúlio Vargas, 11001, 92420-221, Canoas, RS, Brasil  
(Tel: +55-51-3415-2000; e-mail: longhi@petrobras.com.br).

\*\* São José dos Campos, SP, Brasil

(Tel: +55-12-99798-0610; e-mail: lmoro209@gmail.com.br).

\*\*\*Petróleo Brasileiro SA, INDUSTRIAL/PO/ARD, Mauá, SP, Brasil

(Tel: +55-11-97140-4724; e-mail: zanin@petrobras.com.br).

\*\*\*\*Petróleo Brasileiro SA, INDUSTRIAL/PO/ARD, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

(Tel: +55-21-2166-6833; e-mail: vinicius@petrobras.com.br)

**Abstract:** Advanced control is an operational excellence tool based on MPC technology (Model Predictive Control), acting on the efficiency, integrity, and reliability of process units. Petrobras has around a hundred multivariable applications in its refineries, generating benefits over US \$ 100 million per year. It is well known that the benefits of advanced control begin to decline over time if there is no adequate technical support for the applications. The purpose of this work is to present the management strategy adopted by Petrobras to guarantee, not only the effective use of the implemented solutions, but also to enlarge the scope of the existing applications.

**Resumo:** O controle avançado é uma ferramenta de excelência operacional baseada na tecnologia MPC (controle preditivo baseado em modelos), atuando na eficiência, integridade e confiabilidade das unidades de processo. A Petrobras possui em torno de uma centena de aplicações multivariáveis nas suas refinarias, gerando benefícios superiores a 100 milhões de dólares por ano. É bem conhecido o fato de que os benefícios do controle avançado começam a reduzir com o passar do tempo se não há um suporte técnico adequado para as aplicações. O objetivo deste trabalho é apresentar a estratégia de gestão utilizada pela Petrobras para garantir, não apenas a efetiva utilização das soluções implantadas, mas também, para aumentar o escopo das aplicações já existentes.

**Keywords:** Advanced Process Control; Process Management; Process Control; Optimization.

**Palavras-chaves:** Controle Avançado; Gestão de Processos; Controle de Processos; Otimização.

### 1. INTRODUÇÃO

A tecnologia de controle avançado implantada nas refinarias da Petrobras é constituída basicamente de algoritmos de controle preditivo multivariável (Cutler e Ramaker, 1979) e de inferências de propriedades de produtos, que são executados em tempo real. A abordagem contempla duas camadas, otimização estacionária e controle dinâmico, onde o controlador otimiza a operação das unidades de processo através da atuação nas suas variáveis manipuladas em direção à ativação de restrições de equipamentos e/ou limites de especificação de produtos, conforme descrito por Rotava e Zanin (2005).

O controle avançado é uma ferramenta voltada para excelência operacional, atuando na eficiência, integridade e confiabilidade das unidades de processo. Os benefícios econômicos do controle avançado são gerados principalmente através da ativação de restrições do processo, utilizando as suas variáveis manipuladas que são os graus de liberdade. Como está ilustrado na figura 1, a maioria dos projetos de

controle avançado tende a reduzir os seus benefícios algum tempo após o comissionamento pela deficiência no suporte técnico e manutenção. No entanto, alguns projetos conseguem prolongar e melhorar seus benefícios ao longo do tempo em função de uma gestão apropriada, que permite a incorporação de novas oportunidades.

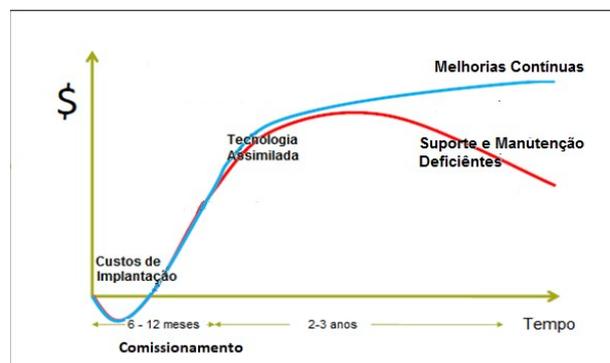


Fig. 1 Benefício do controle avançado ao longo do tempo.

O número de aplicações de controle avançado nas refinarias da Petrobras ultrapassa uma centena, sendo a maioria delas abrangendo a envoltória de uma unidade de processo. O objetivo deste trabalho é apresentar a estratégia de gestão utilizada pela Petrobras para garantir a efetiva utilização das soluções implantadas, a qual é constituída por três etapas: (i) criação de índices de desempenho, (ii) desenvolvimento de painéis de monitoração e oportunidades e (iii) implantação do gerenciamento da rotina para o controle avançado operar com resultados estáveis (Falconi, 2009).

A seção 2 deste trabalho descreve os índices utilizados para a monitoração do desempenho e benefícios econômicos das aplicações de controle avançado. A seguir é detalhado o painel de priorização de oportunidades (PPOP) onde estão sinalizadas as perdas econômicas que devem ser gerenciadas. Na seção 4 é apresentado o gerenciamento da rotina, alicerçada no Índice de Manipuladas Desligadas (IMD), que está sendo implantada para a obtenção dos resultados esperados e estáveis ao longo do tempo. Na seção 5 são apresentados os resultados já obtidos na gestão do controle avançado. Finalmente, na seção 6, estão as conclusões e considerações finais.

## 2. ÍNDICES DE DESEMPENHO E BENEFÍCIOS DO CONTROLE AVANÇADO

O sistema de controle avançado está associado a três indicadores:

- IDCAV: índice de desempenho do controle avançado;
- IGCAV: índice de gestão do controle avançado;
- IMD: índice de manipuladas desligadas.

Estes indicadores têm como condição habilitadora a vazão mínima da carga que está relacionada com a operação estável da unidade. O IMD pode ter condições habilitadoras adicionais, específicas para cada manipulada em função de sua configuração no controle regulatório.

### 2.1 IDCAV

O IDCAV mede o desempenho do controle avançado (0 a 100%) e é geralmente calculado pelo Índice da Percentagem de Controladas Ativas (IPCAT). Este índice está diretamente associado ao objetivo do controlador preditivo multivariável que é a ativação de restrições, ou seja, mover variáveis controladas em direção a um de seus limites, máximo ou mínimo. A percentagem de controladas ativas (PCAT) é calculada da seguinte forma (1):

$$PCAT = 100 \cdot \frac{\text{Número de Controladas Ativas}}{\text{Total de Manipuladas}} \quad (1)$$

Uma vez que nem toda manipulada corresponde a um grau de liberdade para ativar restrição e que as perturbações fazem com que a unidade não possa permanecer continuamente nas restrições, para cada aplicação é determinado um PCAT

ótimo viável (PCATótimo), o qual é utilizado para o cálculo do índice de desempenho, conforme (2):

$$IDCAV = IPCAT = 100 \cdot \frac{PCAT}{PCATótimo} \quad (2)$$

De posse do índice de desempenho IDCAV, o benefício é determinado através da integração, em um intervalo de tempo, da equação (3):

$$\$Ben_{Realiz} = \frac{IDCAV}{100} \cdot \text{Carga} \cdot \$BenBbl \cdot Fat_{Conv} \quad (3)$$

Onde:

$\$Ben_{Realiz}$ : é o ganho econômico (US\$/unidade de tempo);

Carga: vazão da carga da unidade com o controle avançado (unidade de volume/unidade de tempo);

$\$BenBbl$  benefício específico do controlador (US\$/Barril de Carga), o qual é obtido experimentalmente através de levantamento estatístico da rentabilidade da unidade antes e após a implantação do controlador;

Fatconv: fator de conversão para adequar o ganho por barril com a unidade de medida da carga.

### 2.2 IGCAV

O desempenho do controle avançado pode sofrer degradação devido a dois fatores: (i) inadequação do projeto em função de necessidade de mudanças na estratégia de controle ou alteração no número de restrições e graus de liberdade e (ii) falhas de equipamentos relacionados com as variáveis do controle avançado, ocasionando em uma janela operacional mais restrita.

Os dois fatores acima relacionados fazem que o  $\$Ben_{Realiz}$  da equação (3) seja reavaliado para um valor menor denominado  $\$BenBbl_{Disp}$  e também o valor ótimo (PCATótimo) seja renegociado para um valor menor. Desta forma a equação (3) é substituída por:

$$\$BenCAV_{Realiz} = \frac{IDCAV}{100} \cdot \text{Carga} \cdot \$BenBbl_{Disp} \cdot Fat_{Conv} \quad (4)$$

O benefício disponível (máximo que pode ser realizado) é obtido através da equação (4), com IDCAV = 100, ou seja:

$$\$BenCAV_{Disp} = \text{Carga} \cdot \$BenBbl_{Disp} \cdot Fat_{Conv} \quad (5)$$

Finalmente, o benefício potencial é obtido pela equação (3) com IDCAV = 100, ou seja:

$$\$BenCAV_{Potencial} = \text{Carga} \cdot \$BenBbl \cdot Fat_{Conv} \quad (6)$$

O IGCAV é definido como a relação do benefício disponível (5) e o benefício potencial (6):

$$IGCAV = 100 \cdot \frac{\$BenCAV_{Disp}}{\$BenCAV_{Potencial}} = \frac{\$BenBblDisp}{\$BenBbl} \quad (7)$$

Caso não haja degradação do controle avançado, o \$BenBblDisp é igual ao \$BenBbl e o IGCAV é igual a 100%. Quando o IGCAV é menor que 100%, há necessidade de efetuar a revisão do controle avançado ou manutenção em equipamento relacionado com a aplicação.

### 2.3 IMD

Para que o controle avançado atinja os seus objetivos de aumentar a rentabilidade e estabilidade da operação da unidade de processo, é necessário que suas variáveis manipuladas estejam ligadas.

O objetivo deste índice é acompanhar as variáveis manipuladas desligadas, as quais devem ser minimizadas para que o controle avançado tenha disponível todos os graus de liberdade para otimizar e estabilizar o processo. O seu cálculo é efetuado pela equação (8):

$$IMD = 100 \cdot \frac{\text{Número de Manipuladas Desligadas}}{\text{Total de Manipuladas}} \quad (8)$$

A estratégia de monitoração *on-line* do desempenho do controle avançado das refinarias da Petrobras está descrita em Zanin et al. (2014).

### 3. PAINEL DE PRIORIZAÇÃO DE OPORTUNIDADES (PPOP) DO CONTROLE AVANÇADO

Na figura 2 está ilustrado um exemplo de PPOP de um conjunto de aplicações de controle avançado, onde as perdas (oportunidades) estão normalizadas.

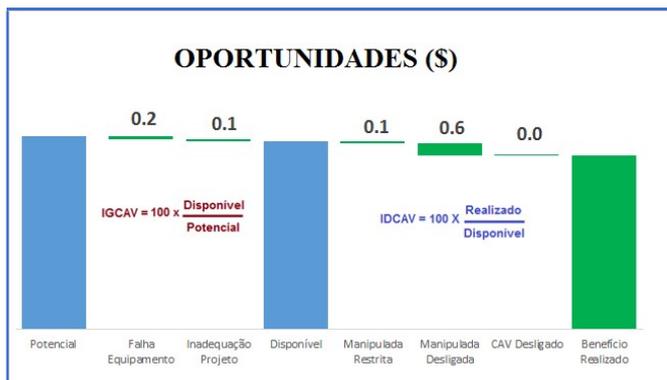


Fig. 2 Gráfico ponte com exemplo dos benefícios e oportunidades do controle avançado.

O índice de desempenho IDCAV, determinado em (2), pode também ser determinado através da relação entre (4) e (5):

$$IDCAV = 100 \cdot \frac{\$BenCAV_{Realiz}}{\$BenCAV_{Disp}} \quad (9)$$

Conforme ilustrado na figura 2, o IDCAV de 100% corresponde à obtenção do benefício disponível, que é máximo que pode ser obtido operacionalmente. As oportunidades relativas a este índice, são divididas em três partes:

- (1) controle avançado desligado: atuação da operação;
- (2) variável manipulada desligada: atuação da operação;
- (3) variável saturada (limites restritos das manipuladas): atuação da engenharia de otimização.

O IGCAV, determinado por (7), mede o percentual do benefício disponível em relação ao potencial ou máximo a ser obtido. As duas oportunidades relacionadas a este índice são:

- (1) inadequação do projeto devido a mudanças na estratégia de controle: atuação da engenharia de automação;
- (2) falhas de equipamento relacionados com o controle avançado: atuação da engenharia de operação que deve acionar a manutenção.

### 4. GERENCIAMENTO DA ROTINA ALICERÇADA NO IMD

Para gerir as aplicações de controle avançado foi elaborado um padrão onde é definido o fluxo de trabalho necessário para garantir de forma estável o seu adequado desempenho. Através do gerenciamento da rotina é definida uma forma de trabalho para que sejam recuperadas as perdas (oportunidades) relativas ao IGCAV e IDCAV ilustradas na figura 2. Neste trabalho é focalizada a maior oportunidade que é a relacionada à “manipulada desligada” e é medida pelo IMD (Índice de Manipuladas Desligadas). É importante enfatizar que embora o IDCAV seja o índice que mede efetivamente o desempenho do controle avançado, o IMD é de mais fácil compreensão pela operação e está fortemente relacionado ao IDCAV.

As variáveis manipuladas são os graus de liberdade do controle avançado e seus benefícios, tanto na otimização quanto na integridade do processo, estão diretamente relacionados com o número de manipuladas ligadas. Tem-se observado que ao longo do tempo algumas variáveis manipuladas são desligadas principalmente pelos seguintes motivos:

- (1) mudanças de objetivos operacionais que envolvem novas restrições;
- (2) problemas de manutenção da instrumentação ou equipamentos do processo;
- (3) limitações do otimizador do controle avançado que é linear e não possui a envoltória de toda a refinaria.

O gerenciamento da rotina do controle avançado está focalizado na redução do Índice de Manipuladas Desligadas e é composto pelas seguintes etapas:

(i) disponibilização de um painel do IMD construído no Microsoft Power BI, o qual contém informação do modo de cada uma das manipuladas que compõem o sistema de controle avançado de toda a área de refino da Petrobras. Cada dia é adicionado um novo conjunto de dados, provenientes do OSIsoft PI Asset Framework (PI AF), referente ao dia anterior. Conforme está ilustrado na figura. 3, o usuário dispõe de uma visão geral do índice das refinarias e processos (gráfico de barras à esquerda e direita, respectivamente), quadro geral do desempenho das unidades de processo (tabela à esquerda) e uma tabela com barra de rolagem para cada manipulada por ordem decrescente do IMD. O usuário pode selecionar o período de tempo desejado bem como o processo ou refinaria;

(ii) cada gerência de processo da Sede construiu uma visão do IMD para realizar semanalmente análise crítica e atuar, em conjunto com as refinarias, para a melhoria sustentável do IMD. O painel do IMD customizado para o processo de craqueamento catalítico está ilustrado na figura 4, no qual é importante ressaltar o gráfico rosca de desempenho por unidade de processo;

(iii) as gerências dos processos da Sede trabalham em conjunto com a gerência de automação da Sede e as gerências de operação de cada refinaria para a melhoria de desempenho do controle avançado;

(iv) nas refinarias, a gerência de operação de cada processo trabalha em conjunto com a manutenção, otimização e automação para solucionar os problemas que impedem que determinada manipulada participe com grau de liberdade do controle avançado.



Fig. 3 - Painel Geral do Índice de Manipuladas Desligadas (IMD).

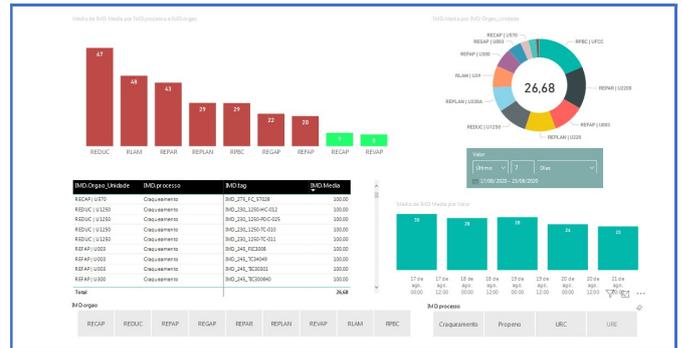


Fig. 4 - Painel do IMD para o processo de Craqueamento Catalítico.

### 5. RESULTADOS OBTIDOS

A gestão do controle avançado está seguindo de forma análoga às etapas da implantação bem-sucedida da gestão do controle regulatório através do indicador IMM – Índice de Malhas em Manual (Moro et al, 2020).

O IMD, a partir de 2021, fará parte de um conjunto maior de KPIs de desempenho de otimização que compõem a nota de desempenho da refinaria. Como este índice está na fase inicial de implementação, a meta a ser atingida em 2020 é de 15%. A melhoria do índice a partir de junho para todas as aplicações do Refino e, mais especificamente para o processo de destilação, é mostrada nas figuras 5a e 5b, respectivamente. Entre as gerências de processo da Sede, a de destilação foi a primeira a iniciar os trabalhos de gestão e melhoria do IMD e está em fase final da sua consolidação.

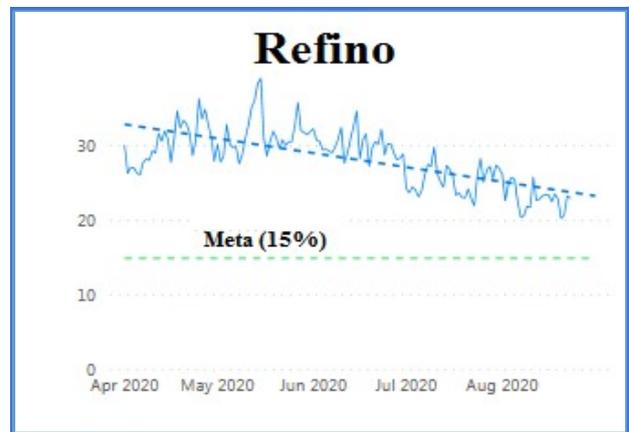


Fig. 5a – Evolução do IMD global do refino.

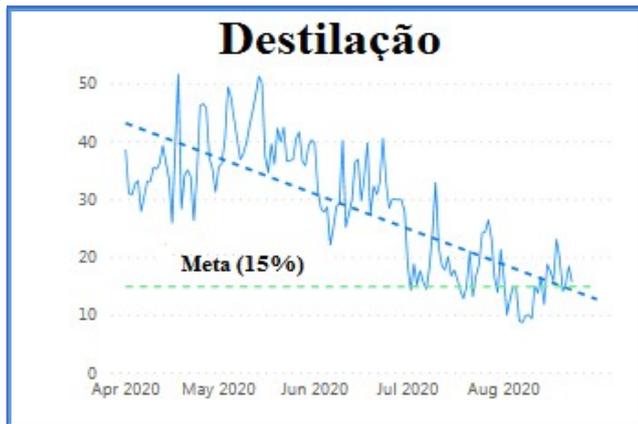


Fig. 5b – Evolução do IMD dos processos de destilação.

Como resultado da melhoria do IMD já está sendo verificado um aumento nos benefícios econômicos do controle avançado, em torno de US\$ 2 milhões por ano, como consequência da redução da perda por “manipulada desligada” ilustrada na figura 2.

O gerenciamento da rotina do IMD também está estimulando o aumento do tamanho dos controladores, com a configuração de novas manipuladas de otimização global e não linear, cuja função do controle avançado é apenas de conduzi-las dinamicamente para o valor ótimo determinado pelo otimizador em tempo real da própria unidade (RTO) e principalmente pelo otimizador global da refinaria que atualmente está sendo implementado no Refino da Petrobras. A visão da otimização da operação é mostrada na figura 6. A sua implementação no controle regulatório do SDCD é por intermédio das manipuladas do controle avançado.

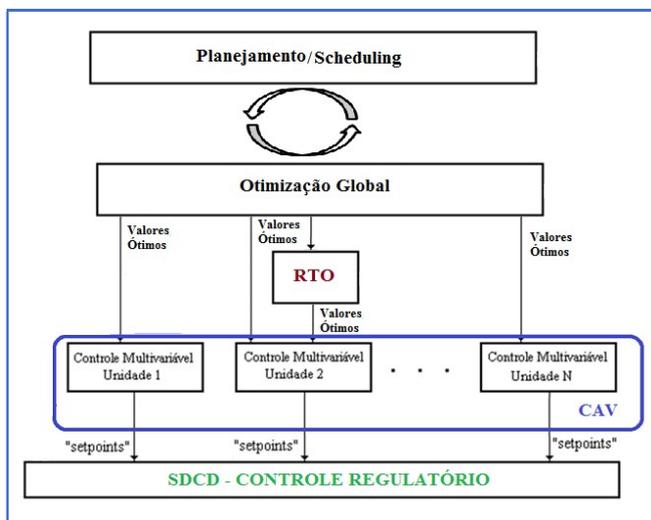


Fig. 6 – Otimização da operação.

## 6. CONCLUSÕES

Tendo como objetivo a operação do controle avançado com elevado benefício econômico de forma sustentada ao longo do tempo, foi elaborado um padrão onde são definidos os seus índices de desempenho e as atribuições das funções da sua gestão. Entre os recursos envolvidos estão sete funções,

desde o operador do painel, que é o responsável por manter o controle avançado ligado, até o engenheiro de processo da Sede da empresa, que realiza semanalmente uma análise crítica do seu desempenho e solicita melhorias diretamente à refinaria ou através da gerência central de automação e refino digital.

Neste trabalho, é dada ênfase ao Índice de Manipuladas Desligadas (IMD). Este indicador é simples, de fácil implementação e está relacionado à maior parte das perdas do controle avançado, conforme sinalizado no painel de priorização de oportunidades (PPOP).

Como continuidade e ampliação deste trabalho serão comparadas as estruturas dos controladores multivariáveis das principais unidades de processo em relação aos graus de liberdade básicos, as quais já foram compilados através de boas práticas envolvendo todas as refinarias da Petrobras. Para a ampliação dos benefícios do controle avançado é importante que haja uma configuração padrão de manipuladas às quais serão complementadas em função de particularidades de cada refinaria, incluindo estratégias de otimização realizadas diretamente na hierarquia do controle regulatório, porém com funções de rentabilidade características da hierarquia do controle avançado.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todos os colegas das áreas de automação das refinarias, assim como a todas as áreas que possibilitam o efetivo uso destas aplicações (operação, engenharia, otimização e laboratório).

## REFERÊNCIAS

- Cutler, C. R. and Ramaker, B. L. (1979). Dynamic matrix control: a computer control algorithm. *AICHE 86th National Meeting*, paper 51-B, Houston, April.
- Falconi, V. (2009). *O verdadeiro poder*. Capítulo 9. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda.
- Moro, L. F. L., Magalhães, M. V. O. e Longhi, L. G. S. (2020). Gestão do controle regulatório da área industrial da PETROBRAS. Rio Oil & Gas 2020, Rio de Janeiro (congresso virtual) 1 a 3 de dezembro de 2020, Anais, a ser publicado (aceito).
- Rotava, O. and Zanin, A. C. (2005). Multivariable control and real-time optimization – an industrial practical view. *Hydrocarbon Processing*, June, 61-71.
- Zanin, A. C., Moro, L. F. L., Gomes, A. N., Santos E. S., Carvalho, F. B. e Junior, H. G. O. (2014). Monitoração on-line do desempenho do controle avançado. *XX Congresso Brasileiro de Automática*, Belo Horizonte, MG, 20 a 24 de setembro de 2014, Anais, p. 3336-3342.