

GESTÃO E OTIMIZAÇÃO DE MALHAS DE CONTROLE EM PLANTAS DE CONCENTRAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO DA VALE¹

Daniel Codo de Faria²
 Matheus Lage Miranda³
 Roberto Dias Aquino⁴
 Bernardo Soares Torres⁵

Resumo

Nos últimos anos, a Diretoria de Ferrosos Sudeste (DIFS) da Vale vem investindo no monitoramento contínuo e otimização das mil malhas de controle de cinco plantas de concentração de minério de ferro em Minas Gerais. Apesar dos resultados operacionais e financeiros expressivos obtidos no passado, observou-se que os mesmos não eram sustentáveis devido à tendência de declínio natural das malhas de controle, como consequência de mudanças nos processos ou condições operacionais e desgastes de equipamentos, além da inexistência de uma estrutura interna dedicada à gestão e melhoria contínua destes ativos. Foi montada uma nova estrutura, com recursos próprios da Vale e terceirizados, para efetuar a gestão das malhas de controle e otimização geral dos processos produtivos, num horizonte a longo prazo, mas dividido em ciclos de melhoria mais curtos. Assim, é possível quantificar resultados no curto prazo, mas sustentando-os ao longo dos anos. Este trabalho apresenta essa nova abordagem, enfatizando os elementos básicos para o seu sucesso: nova metodologia empregada, nova estrutura de pessoal e ferramentas dedicadas. Resultados significativos já obtidos e as vantagens operacionais potencializadas por essa iniciativa também são discutidos, reforçando o trabalho como uma alternativa às plantas industriais em geral para garantir o sucesso de iniciativas de otimização de processos, evitando o problema crônico de falta de sustentabilidade que leva ao descrédito e abandono por parte dos usuários.

Palavras-chave: Malhas de controle; Otimização de processos; Excelência operacional; Sustentabilidade.

NEW APPROACH FOR CONTROL LOOP MANAGEMENT AND OPTIMIZATION IN IRON-ORE CONCENTRATION PLANTS AT VALE

Abstract

During the last few years, Vale has been consistently investing in the continuous monitoring and optimization of about 1,000 control loops in 5 of their iron-ore concentration plants in Minas Gerais, Brazil. Even though significant operational and financial results have been obtained in the past (typically 5% in productivity increase, 5% in process input consumption reduction, 25% in product overflow and loss reduction, among others), benefits were not sustained as control loops' performance tend to naturally decline over time. This is due to process and operational condition changes, equipment wear and the inexistence of a dedicated in-house structure for management and continuous improvement of these assets. With that in mind, an innovative work structure has been deployed, with Vale's own resources as well as contractors, for control loop management and overall production process optimization in a long-term perspective (initially 3 years) but considering shorter improvement cycles (of about 3 months each). In this way, it is possible to measure short-term results but also to sustain and continuously improve process throughout the years. This paper presents this new approach for production processes optimization, highlighting the basic elements for its success: new applied methodology, new personnel structure and dedicated software tools. It also discusses several examples of significant results already achieved, an equivalent of about 200,000 tons of iron ore yearly in production loss reduction, and the company's operational advantages strengthened by this initiative. The proposed structure can be considered a suitable alternative to industrial plants in general for guaranteeing the success of their process optimization efforts, avoiding the chronic problem of lack of sustainability which, in turn, leads to skepticism and disposal by plant personnel.

Key words: Control loop; Process optimization; Asset management; Operational excellence; Sustainability.

¹ Contribuição técnica ao 16º Seminário de Automação e TI Industrial, 18 a 21 de setembro de 2012, Belo Horizonte, MG.

² Mestrado em Ciência da Computação. Gerente de Automação, Accenture.

³ Pós-graduação em Automação Industrial. Consultor Sênior de Automação, Accenture.

⁴ Pós-graduação em Administração de Sistemas de Informação. Supervisor de Automação, Vale.

⁵ Mestrado em Engenharia Elétrica/MBA. Gerente Sênior de Automação, Accenture.

1 INTRODUÇÃO

Após diversas implementações isoladas e de curta duração de projetos focados em monitoramento de desempenho de malhas de controle^(1,2) (CLPM – *Control Loop Performance Monitoring*), a Vale se deparou com uma realidade inquestionável: apesar dos bons resultados operacionais e financeiros obtidos com essas iniciativas,⁽³⁾ sua sustentabilidade somente pode ser alcançada por meio de um programa contínuo e de longo prazo de otimização de controle de processos, o qual combina tecnologias específicas, profissionais qualificados e metodologia consolidada de trabalho.

Aumento de produtividade, redução de consumo de insumos e redução de perdas de produção são exemplos típicos de resultados tangíveis obtidos em diversas plantas da Vale com esforços temporários de otimização de processos. Contudo, torna-se evidente que, devido a mudanças nas condições operacionais e de processo, desgaste de equipamentos e a inexistência de uma estrutura interna dedicada ao monitoramento contínuo e de sustentabilidade, tais resultados são naturalmente perdidos. A Figura 1 ilustra a condição típica (em vermelho) na qual o desempenho diminui, após atingir algum objetivo de benefício, se nenhum programa efetivo de sustentabilidade for aplicado. A curva em verde retrata o cenário ideal onde os resultados não são apenas sustentados como também continuamente melhorados.

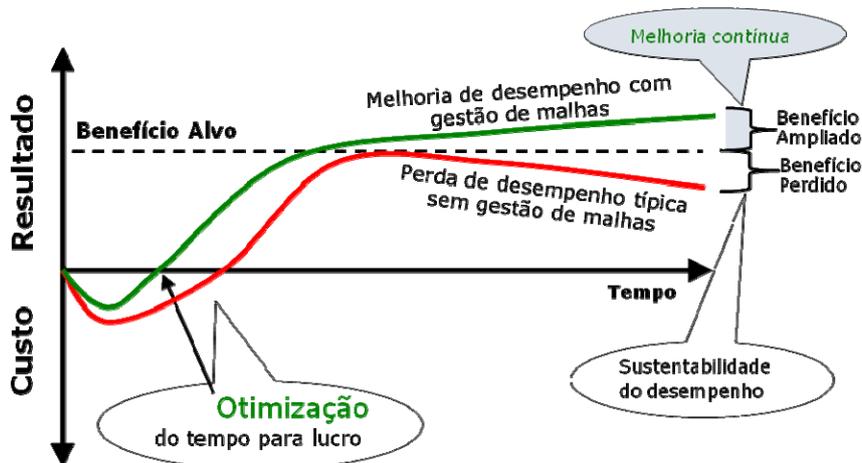


Figura 1. Sustentabilidade de benefícios com gestão de malhas de controle e ativos contínuos e de longo prazo. Fonte: ARC Advisory Group

Considerar iniciativas de otimização dentro de um amplo programa de otimização e não somente como projetos simples e isolados é uma maneira possível de se conseguir a condição de melhoria contínua descrita acima. Projetos de Otimização, geralmente de curta duração, possuem todas as suas fases bem definidas. Frequentemente, eles provêm resultados valiosos e imediatos para as empresas, mas após alguns meses de suas conclusões, as plantas estão novamente enfrentando os mesmos desafios. A idéia de um programa de otimização se difere por ser considerada uma iniciativa de longo prazo (alguns ou vários anos), associado com ciclos de melhoria contínua, onde novos conceitos são constantemente aprendidos, padronizados e aplicados. Além disso, indicadores chave de desempenho (KPIs) relacionados a cada benefício alcançado são claramente definidos, mensurados e monitorados para garantir a condição de

processo desejada ao longo dos anos. Dessa forma, muitos desafios internos e de negócio (conforme resumido na Figura 2) podem ser superados para que as empresas atinjam a excelência operacional.⁽⁴⁾

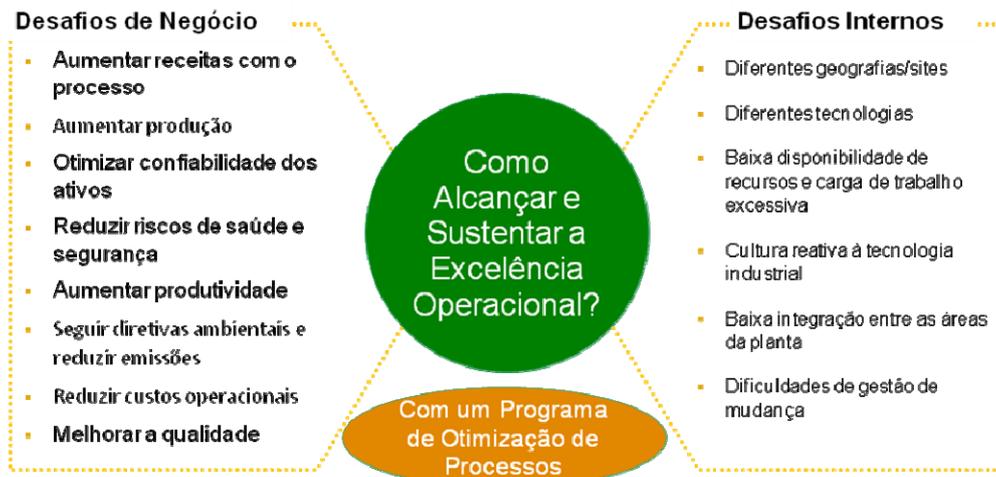


Figura 2. Superação de desafios de negócio e internos através de um programa de otimização de processos.

A Vale, como muitas organizações, deve superar esses desafios para a criação e a sustentabilidade de um diferencial competitivo. Além dos típicos desafios de negócio, a restrição de recursos e as atividades normais de operação e manutenção das plantas reduzem a dedicação em otimização de controle de processos, o que tem comprometido fortemente o uso de soluções de CLPM nas unidades industriais. Neste cenário, a combinação de recursos internos e de terceiros surge como alternativa para se ter recursos com maior foco e produtividade e maior integração entre as equipes internas, alavancando oportunidades e resultados por meio de programas de otimização de processos.

Este artigo discute a nova abordagem adotada pela Vale DIFS (Diretoria Ferrosos Sudeste) para monitoramento contínuo e otimização de cerca de mil malhas de controle pertencentes a cinco plantas beneficiamento de minério de ferro localizadas em Minas Gerais, Brasil. O capítulo 2 descreve resumidamente a infra-estrutura tecnológica em uso pelo programa de otimização proposto. A nova estrutura de equipe é apresentada no terceiro capítulo enquanto a metodologia de trabalho é abordada no capítulo quatro. Na seqüência, alguns resultados tangíveis e intangíveis são detalhados no capítulo cinco. Finalmente, as conclusões, próximos passos e visão de futuro são discutidos no sexto capítulo. Até o desenvolvimento deste artigo, passados oito meses do início do programa de otimização, resultados da ordem de aproximadamente 200.000 toneladas de minério de ferro em termos de redução anual de perdas de produção foram validados pelos engenheiros e gerentes de plantas da Vale.

2 INFRA-ESTRUTURA

Atualmente muitas empresas investem em tecnologia de informação para obter informações que permitem o aprimoramento do conhecimento de seus processos produtivos e, com isso, identificar oportunidades de melhoria. Dessa forma, é necessário o constante monitoramento de processos para verificar se os objetivos estratégicos da companhia estão sendo atingidos. Para que isso seja possível, a

capacidade de aplicar os indicadores chave para medir o desempenho de seus processos é uma característica essencial a ser desenvolvida, uma vez que permite uma maior compreensão e diagnóstico dos processos.

A Vale DIFS emprega, basicamente, dois importantes sistemas de automação para seu programa de otimização de processos: OSI PI como sistema de gerenciamento de informação da planta (PIMS-*Plant Information Management System*) para armazenar e gerenciar dados produtivos e PlantTriage para monitoramento e avaliação de desempenho de malhas de controle (CLPM). Estes sistemas estão instalados na rede de informação das plantas os quais estão diretamente conectados aos sistemas de controle das cinco plantas da DIFS, conforme mostrado na Figura 3.

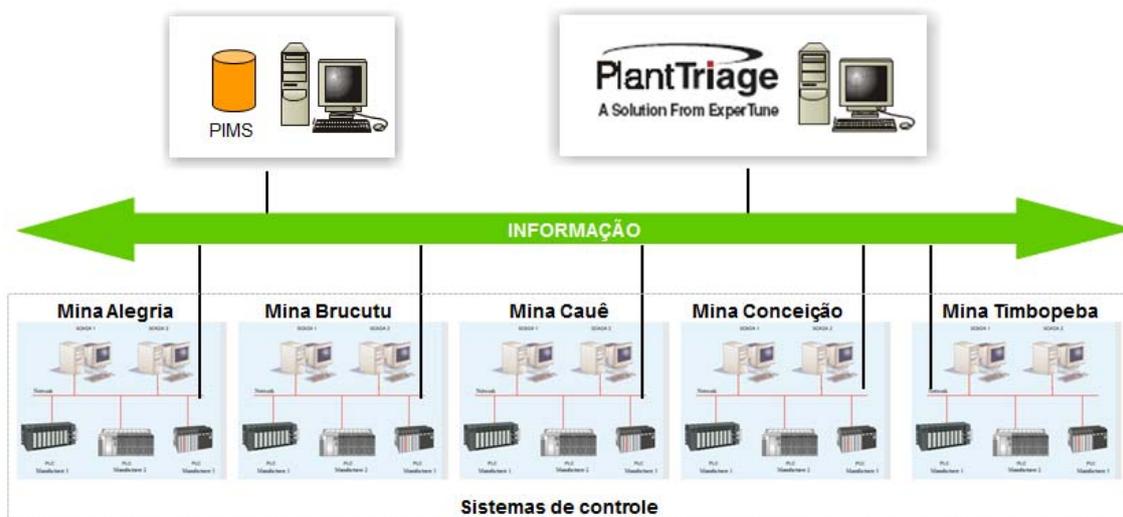


Figura 3. PIMS e PlantTriage conectados à rede de controle de 5 sites da DIFS.

Com licença disponível para mil malhas, a Vale DIFS está atualmente monitorando 959 malhas de controle, as quais estão divididas da seguinte forma:

- Mina Alegria : 142 malhas;
- Mina Brucutu : 252 malhas;
- Mina Cauê: 220 malhas;
- Mina Conceição: 196 malhas; e
- Mina Timbopeba: 149 malhas.

Todas as malhas de controle estão classificadas conforme o tipo de variável de processo controlada, conforme mostrado na Figura 4.

Classificação de Malhas por tipo - Total Vale DIFS

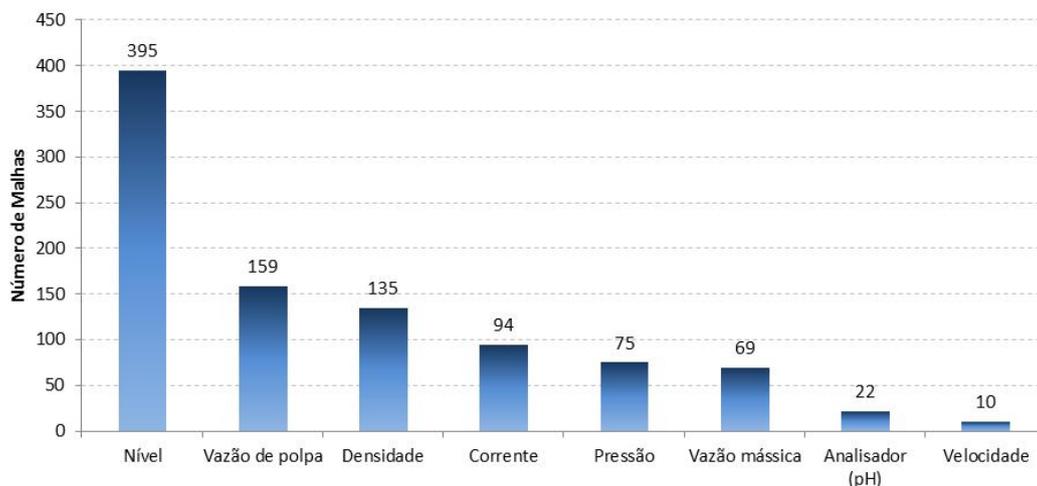


Figura 4. Classificação das malhas de controle da Vale DIFS.

No contexto da Vale DIFS, um grande número de variáveis de processo estão relacionadas aos tanques de polpa de minério onde existem centenas de malhas de controle para controlar nível, vazão e densidade de polpa nestes tanques.

O software de CLPM utilizado na DIFS possui ferramentas que permitem a avaliação de desempenho de malhas, identificação de problemas e sintonia de parâmetros de controladores. A partir da coleta e armazenamento de dados de malhas de controle, indicadores chave de desempenho (KPIs- *Key performance indicators*) são calculados para permitir o rápido diagnóstico e identificação de oportunidades de melhoria. Para mensurar o desempenho de uma malha, é atribuída uma “nota” para cada malha, que por sua vez é calculada a partir da média aritmética dos considerados como principais KPIs de desempenho de malhas:

- *Erro médio absoluto*: calculado como percentual do span da variável de processo, corresponde à média do desvio entre a variável de processo e seu valor desejado ou referência.
- *Tempo em modo normal*: é o percentual de tempo no qual a malha opera em modo normal. Normalmente, o modo normal corresponde ao modo automático.
- *Saturação*: corresponde ao percentual de tempo em que a saída da malha de controle fica saturada no limite mínimo e máximo configurados.

Por meio de um gráfico *treemap* (Figura 5), todas as malhas de controle podem ser visualizadas ao mesmo tempo usando código de cores, no qual os tons de vermelho indicam desempenho ruim enquanto que tons de verde significam malhas com bom desempenho. Este retrato da condição atual das malhas possibilita uma visão geral de todas as plantas da Vale DIFS e também permite indicar quais plantas e/ou unidades operacionais possuem um número significativo de malhas que precisam ser otimizadas.



Figura 5. Treemap de desempenho das malhas de controle.

A nota global de um site é calculada pela média aritmética das notas individuais de cada malha que pertence a um determinado site. Conforme mostrado na Figura 6, monitorar continuamente a nota global dos sites ao longo do tempo é considerado uma boa prática para acompanhamento da evolução de desempenho e permite o benchmarking entre os sites.

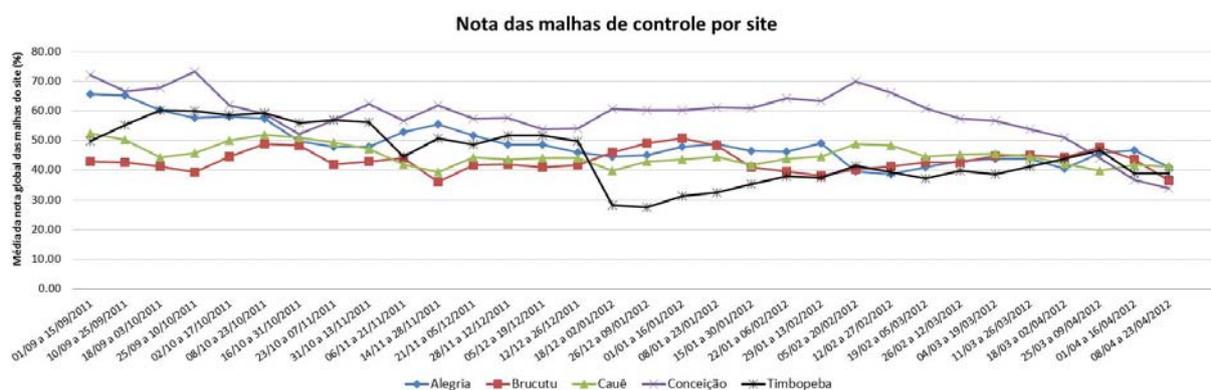


Figura 6. Comparação de desempenho das malhas entre os sites da Vale DIFS.

3 NOVA ESTRUTURA DE EQUIPE

Em 2004, a Vale DIFS criou a Supervisão de Controle e Otimização contando com quarto engenheiros, um analista e um supervisor. Objetivando criar a cultura de otimização na DIFS, foram realizados pequenos projetos e uma força tarefa na planta de Conceição, tais como o sistema de redução de gargalos usando lógica fuzzy, o aplicativo para redução de transbordo usando estratégias de controle feedforward, sintonia de controladores, controle de rejeição a distúrbios, etc. Após bons resultados com essas iniciativas, a Supervisão de Otimização foi dividida em 2007 para prover o mesmo suporte e realizar ações de melhoria para os três complexos produtivos: Mariana – com duas plantas de beneficiamento, Alegria e Timbopeba; Itabira – também com duas plantas, Cauê e Conceição; Minas Centrais – com três plantas de beneficiamento, Brucutu, Água Limpa e Gongo Soco.

Neste cenário, a gestão de automação da DIFS decidiu criar supervisões locais em cada complexo, as quais são responsáveis por novos projetos de automação, manutenção de sistemas de automação, implementação de estratégias de

otimização e gestão de malhas de controle. A equipe original de otimização foi então dividida dentro das supervisões locais focando em controlar e sustentar os bons resultados obtidos a partir do estreito relacionamento com as equipes de operação e manutenção. Contudo, demandas adicionais em implementação de projetos diversos acarretaram na mudança de rotina e no planejamento focado de monitoramento e sustentabilidade do desempenho de malhas de controle. Finalmente, em 2011 a Vale DIFS decidiu reestruturar a equipe de otimização em uma supervisão central e matricial que pudesse atender as demandas de todas as plantas de beneficiamento.

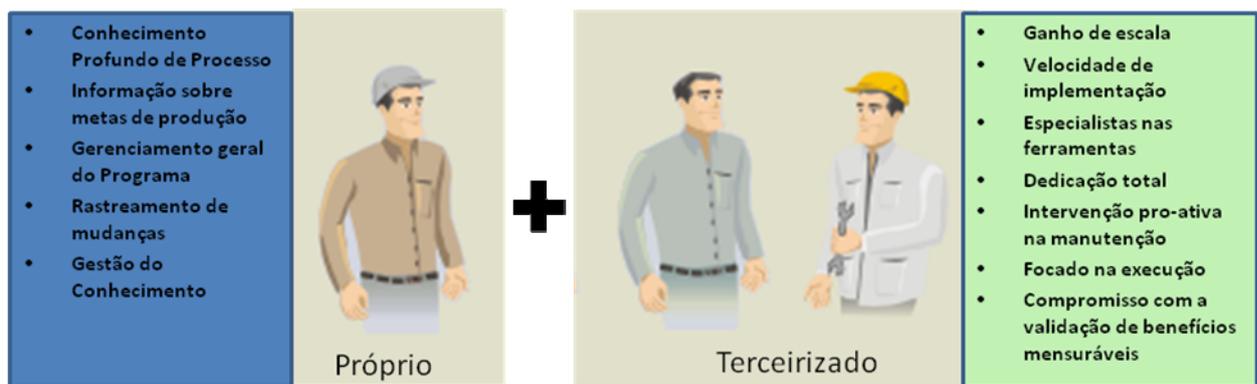


Figura 7. Recursos internos e de terceiros se complementam.

Nesta estrutura de equipe, o time técnico da Accenture basicamente consiste em um engenheiro de controle experiente, chamado de especialista de otimização, alocado em cada planta com o foco operacional, e um recurso sênior parcialmente dedicado com uma visão estratégica, denominado de líder central de otimização. Os recursos operacionais são os principais responsáveis pela execução dos planos de ação locais, análises detalhadas de oportunidades de melhoria e desvios de processo, implementação de ações de melhoria de controle, avaliação de resultados e sustentabilidade. Estes recursos representam também um ponto chave para a integração entre as demais equipes locais das plantas, como operação, manutenção, processo e automação, os quais estão envolvidos, conforme necessidade, na priorização do plano de ação e validação de resultados. O líder de otimização representa uma centralização de todos os esforços de otimização em andamento, basicamente responsável por direcionar estrategicamente os recursos operacionais, prover suporte técnico quando necessário e replicar as melhores práticas e resultados para as demais plantas. A Figura 8 ilustra o conceito das frentes de trabalho operacional e estratégica,⁽⁵⁾ mostrando que os ciclos de melhoria operacional (que serão discutidos no capítulo quatro) são executados em cada planta, enquanto que o ciclo estratégico supervisiona e direciona a execução dos ciclos operacionais.

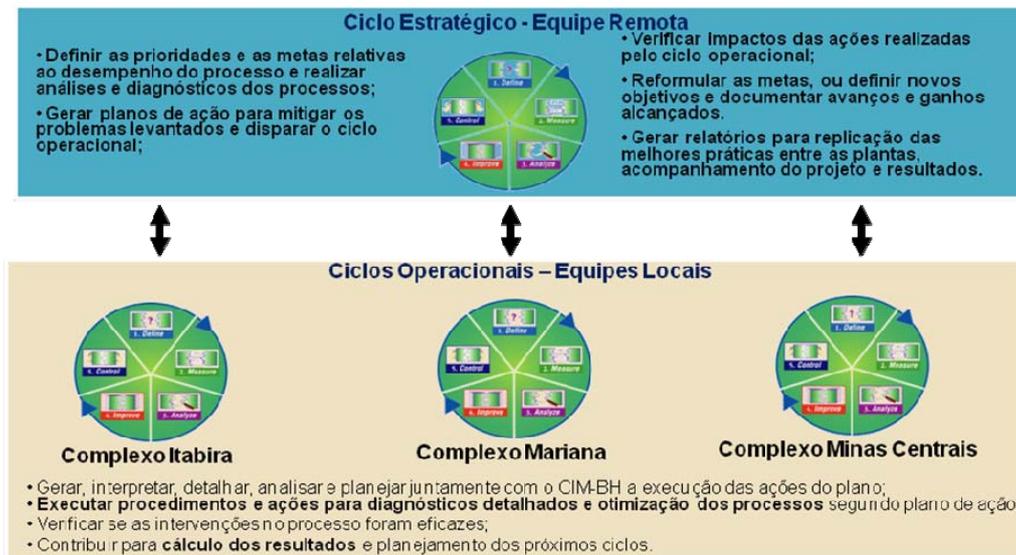


Figura 8. Ciclos de melhoria e equipes operacional e estratégica.

Além disso, para completar a equipe de otimização (Figura 9), os pontos focais locais de cada área operacional envolvida nos trabalhos são cuidadosamente escolhidos, uma vez que eles representam a principal conexão entre os especialistas de otimização e as equipes locais da planta. O líder local de otimização é outro engenheiro experiente focado em prover suporte ao time local. O líder central de otimização, que é um recurso da empresa parceira, se encontra numa posição central para enfatizar seu papel mais amplo e fundamental. É importante notar que o envolvimento do patrocinador interno do projeto é também fundamental para as decisões estratégicas, efetiva divulgação interna dos resultados e melhor suporte das plantas operacionais.

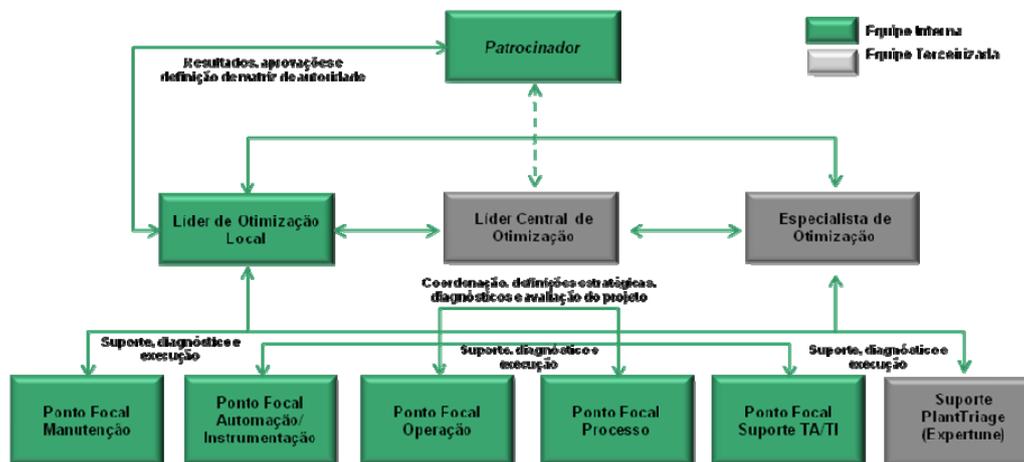


Figura 9. Estrutura híbrida da equipe de otimização.

4 METODOLOGIA DE TRABALHO INOVADORA

O terceiro pilar fundamental para o sucesso do programa de otimização se refere à atual metodologia de trabalho aplicada. Vários conceitos têm sido combinados visando criar uma nova forma de estruturar os esforços contínuos para a identificação e implementação de novas oportunidades de melhoria, execução de análises e ações corretivas priorizadas e sustentabilidade de resultados alcançados.

A definição dos ciclos operacionais e estratégicos representam a base para a nova abordagem metodológica. Contando com duração típica de três meses, cada ciclo basicamente inclui três fases (diagnóstico, implementação e avaliação de resultados), as quais são implantadas seguindo o conceito DMAIC de Lean Six-Sigma, conforme mostrado na Figura 10 abaixo.

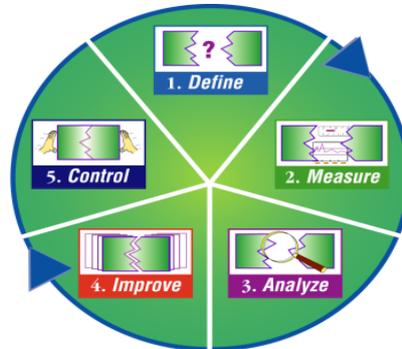


Figura 10. Ciclo de melhoria, baseado no modelo Lean Six-Sigma DMAIC.

Este modelo foi amplamente discutido e estudado para seu adequado uso em otimização de processos industriais. A fase de diagnóstico engloba as três primeiras etapas do DMAIC, começando com uma definição estratégica dos objetivos e metas para o atual ciclo. Workshops internos, seguindo uma metodologia focada nos problemas de processo e em oportunidades de melhoria são agendados para as primeiras semanas desta fase. Nestes workshops, líderes e pessoas chave de todas as áreas operacionais debatem e priorizam as oportunidades mais críticas para a planta. Esta priorização representa uma primeira direção para que a equipe de otimização possa coletar informações e realizar um diagnóstico detalhado do processo produtivo.

Uma vez que a lista de ações de melhoria tenha sido validada e esteja pronta para ser implantada, a etapa de implementação da metodologia DMAIC se inicia. Durante esta fase, novas estratégias de controle são implementadas, malhas de controle PID são reajustadas, instrumentos de campo são calibrados, os problemas de instrumentação de campo são corrigidos e até mesmo novos procedimentos operacionais são estabelecidos. A inclusão e o acompanhamento dessas ações são feitos por meio de um plano de ação, onde qualquer item crítico pendente é monitorado e escalado se necessário. Estatísticas do progresso dos planos de ação são periodicamente preparadas para fornecer uma visão geral e possibilitar o direcionamento estratégico das ações pelo patrocinador do projeto.

Finalmente, inicia-se a avaliação de benefícios após a execução das atividades de melhoria (etapa "Control" do ciclo DMAIC). A equipe discute e valida a metodologia de análise a ser usada, comparam as condições operacionais antes e após as ações para, na sequência, consolidar os resultados finais. Os resultados são então formalmente divulgados a todos os interessados e se tornam parte fundamental do esforço de sustentabilidade a longo prazo.

Outro aspecto da metodologia de trabalho que desempenha um papel definitivo no sucesso do projeto se refere à revitalização da supervisão de otimização, conforme discutido na seção três. O grupo de trabalho específico, denominado de "Grupo de Malhas de Controle", estabeleceu uma reunião técnica mensal envolvendo os pontos focais de cada área operacional visando criar um grupo coeso que busque o mesmo objetivo: a melhoria contínua e a sustentabilidade do desempenho da planta. Para isso, registra-se em um único plano de ação todas as oportunidades levantadas

durante as reuniões, além de revisar e atualizar o cronograma de trabalho, prazos e recursos necessários para cada item listado. Esta nova interação periódica garante um nível de comprometimento e foco nunca visto antes, possibilitando a implantação de ações de natureza complexa que envolva diversas áreas de especialização de uma forma mais eficiente. As interdependências, prioridades e os impactos de cada ação são claramente apresentadas e divulgadas para todos do grupo, de modo que qualquer resultado validado é naturalmente considerado como um trabalho em equipe, onde cada membro tem seu papel reconhecido, respeitado e valorizado.

5 RESULTADOS ALCANÇADOS

Para completar o ciclo DMAIC, ao final da etapa de implementação de ações de melhorias identificadas no plano de ação, inicia-se o processo de avaliação de resultados. A verificação e quantificação dos benefícios são estruturados por meio de uma análise comparativa antes versus depois das ações de melhoria. Para isso, é feito um levantamento histórico de indicadores de direcionadores de negócio, bem como variáveis de processo correlacionadas e/ou impactadas pelas ações de melhoria. Espera-se que um novo patamar de desempenho seja alcançado, gerando novos padrões de controle processo, comprovando a eficiência das ações implementadas.

Caso uma determinada ação não proporcione o resultado esperado, um novo ciclo de análise e diagnóstico é iniciado objetivando identificar novas ações de melhoria que possam proporcionar benefícios reais ao processo. Por outro lado, em situações onde são comprovados resultados tangíveis, inicia-se então a etapa de sustentabilidade na qual é estabelecida uma rotina periódica permanente de avaliação e controle visando garantir os resultados e a qualidade alcançada.

Tipicamente, a implementação de melhoria operacional por si só não é suficiente para assegurar que os benefícios esperados sejam mantidos ao longo do tempo uma vez que o processo produtivo tende a sofrer mudanças e/ou deteriorar com o tempo. Por esse motivo, programas de monitoramento contínuo são essenciais para atingir resultados sustentados.

Conforme mencionado em seções anteriores, o grupo de malhas de cada planta acompanha as oportunidades de melhoria em seu próprio plano de ação, atualizando o estado atual de acordo com o cronograma e/ou conclusão. Conforme mostrado na figura abaixo, ao final do segundo ciclo de melhoria (abril/2012), mais de 500 ações de melhoria já foram identificadas, sendo que 70% delas foram concluídas com sucesso. Os outros 30% foram classificadas como “em andamento”, “pendente” ou “programado” para os próximos ciclos de melhoria.

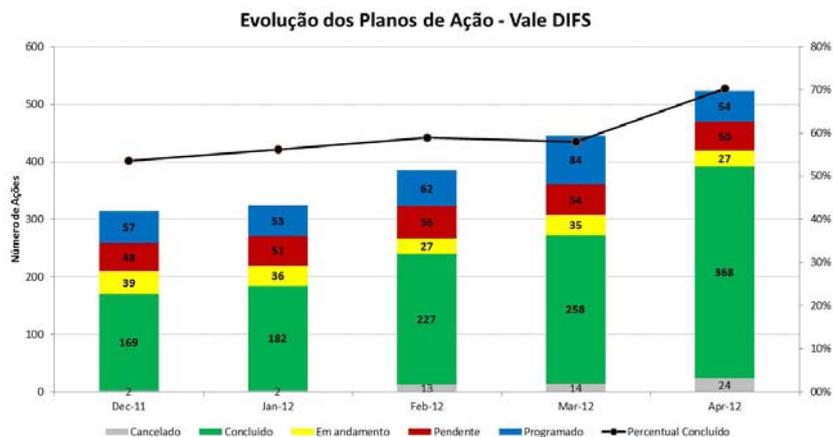


Figura 11. Andamento do plano de ação para as cinco plantas da Vale DIFS.

Aproximadamente mil malhas de controle são monitoradas semanalmente para verificar os impactos das ações de melhoria em seus desempenhos e analisar se possíveis intervenções se fazem necessárias. Essa metodologia contribui para criar e sustentar a cultura de melhoria contínua na Vale DIFS. Como mencionado na seção de infraestrutura, a nota global de uma malha, usada para expressar seu desempenho, é definida pela média aritmética de três KPIs (erro médio absoluto, tempo em modo normal e saturação). É importante mencionar que menores valores em sua nota indicam bom desempenho de controle e vice-versa.

Com isso em mente, a Figura 12 abaixo mostra o acompanhamento semanal das notas das malhas desde o início do projeto, quando o valor de referência foi estabelecido. Nota-se claramente uma melhora na nota global das malhas da Vale DIFS, evidenciando que a execução de ações identificadas neste período estão provendo melhorias no desempenho das malhas.

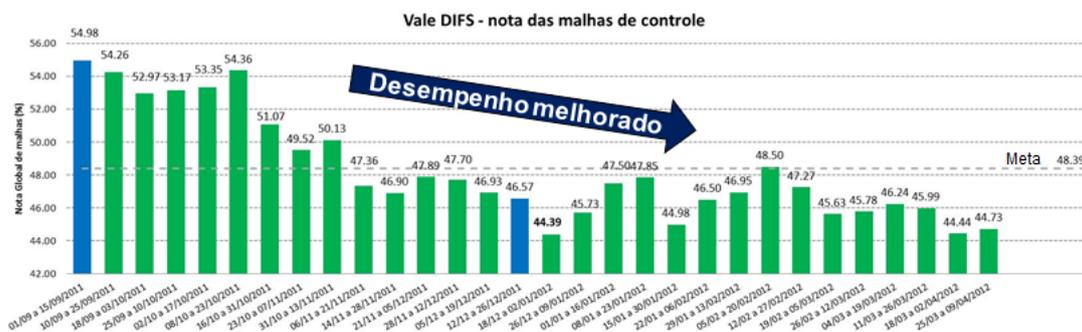


Figura 12. Melhoria nas notas das malhas de controle durante os dois primeiros ciclos do programa.

Este programa de otimização objetiva não só identificar ações de melhoria que tragam benefícios reais aos processos produtivos como também tem o compromisso de implementar rotinas periódicas de sustentabilidade dos resultados que forem sendo alcançados a cada ciclo do projeto. Na sequência, alguns estudos de casos serão apresentados para exemplificar as oportunidades e resultados atingidos.

5.1 Estudo de Caso 1: Redução de Perdas de Produção em Tanques de Polpa

Na planta de Brucutu, elevados índices de transbordo de aproximadamente 60 tanques de polpa geravam perdas significativas de polpa comprometendo a

produtividade da usina. A análise histórica de transbordo dos tanques foi implementada utilizando ferramentas de PIMS para identificar e priorizar os tanques com os maiores índices de perdas. Foi designado um grupo de trabalho, denominado de “Grupo de Perdas Físicas”, para focar em identificar e corrigir problemas relacionados à instrumentação, automação e processo que impactavam e/ou contribuíam para a ocorrência de transbordo dos tanques. Dentre as principais atuações do grupo, destacam-se:

- análise de condições operacionais e de malhas de controle por meio de ferramentas historiadoras de dados e de desempenho de malhas;
- análise de condições operacionais de atuadores de processo (bombas de polpa);
- manutenção corretiva de válvulas de controle;
- adequação e calibração de medidores de nível dos tanques; e
- implementação de estratégias de controle direcionadas ao objetivo de redução de transbordo e distúrbios no processo.

A Figura 13 mostra os resultados obtidos após o início das atividades do grupo de trabalho. Informações básicas de diagnósticos são disponibilizadas para o Sistema de Gestão de Ativos, via servidor OPC, sendo que este servidor lê as informações através de comunicação ethernet com as CPUs dos CLPs.

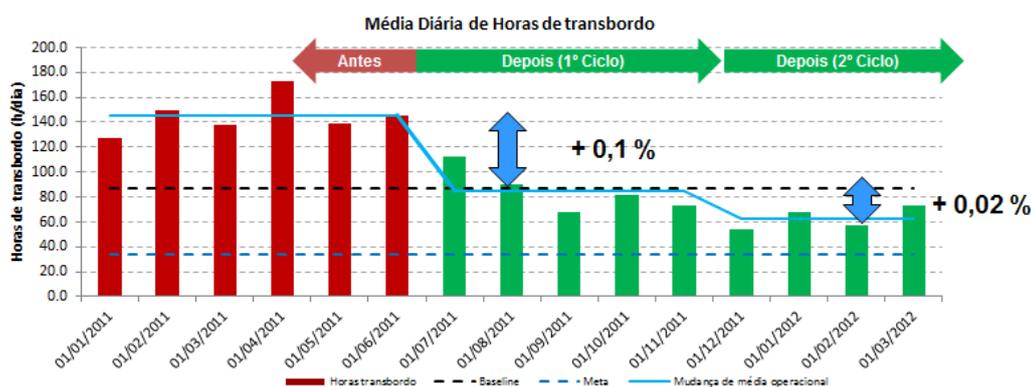


Figura 13. Redução de perdas de produção em tanques de polpa.

Observa-se que, no primeiro ciclo do trabalho, que engloba o período de julho a dezembro de 2011, houve redução significativa de horas de transbordo dos tanques se comparado ao período anterior (janeiro a junho de 2011). Com isso, foi possível calcular um aumento de 0,1% na produtividade da usina. No segundo ciclo, nota-se que os resultados estão sendo sustentados, onde se percebe ainda nova redução na média de horas de transbordo, o que se traduziu em um aumento consecutivo de 0,02% na produtividade. Portanto, totaliza-se um aumento de 0,12% na produtividade, o que representa uma redução de perdas da ordem de 30.000 toneladas de produto por ano. É importante mencionar que a base de dados do PIMS é constantemente utilizada para rastrear e sustentar os benefícios alcançados.

5.2 Estudo de Caso 2: Aumento de Utilização de Equipamentos de Processo

Na planta de Cauê, o fluxo de rejeito da separação magnética pode ser direcionado à etapa de espessamento ou para linhas de separação em espirais. A equipe de operação tinha conhecimento da vantagem de se manter uma alta taxa de utilização da separação em espirais visto que, por meio desta, se consegue um aumento de recuperação mássica e, conseqüentemente, um aumento de produção. Contudo,

havia uma dificuldade em manter este processo em funcionamento durante condições de perturbação, nos quais intertravamentos na lógica de controle não permitiam a operação suave desta linha. Uma equipe multidisciplinar, formada por membros das equipes da operação, elétrica e automação analisaram dados históricos de processo para investigar possíveis causas-raiz do problema. Além disso, o desempenho das malhas de controle foi detalhadamente diagnosticado usando ferramentas de CLPM para estudar possíveis modificações nos sistemas de controle que pudessem melhorar o desempenho do processo como um todo. Como resultado, algumas atividades foram realizadas:

- revisão e melhorias nas estratégias de controle;
- revisão das lógicas de programação e intertravamento; e
- sintonia das malhas de controle

A Figura 14 mostra os gráficos de tendência de uma malha de controle de vazão da linha de separação em espirais. Nota-se melhoria do desempenho das malhas devido à redução do erro em estado estacionário e da saturação da malha após a execução das ações propostas.



Figura 14. Redução de erro em estado estacionário e saturação na malha de vazão.

Além disso, a Figura 15 mostra os gráficos de tendência da malha de nível do principal tanque da linha de separação em espirais. Na situação anterior, intertravamentos na lógica de controle provocavam distúrbios na variável de processo impedindo a operação suave. Nota-se melhoria de desempenho devido à redução do erro em estado estacionário após as modificações realizadas.

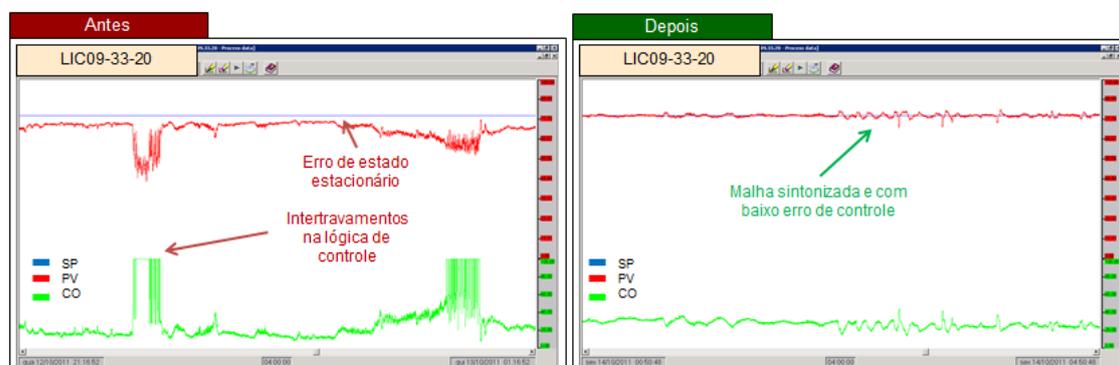


Figura 15. Malha de controle de nível do principal tanque da linha de separação em espirais.

Finalmente, a Figura 16 evidencia como a melhoria de desempenho das malhas de controle impactam positivamente no desempenho global do processo.

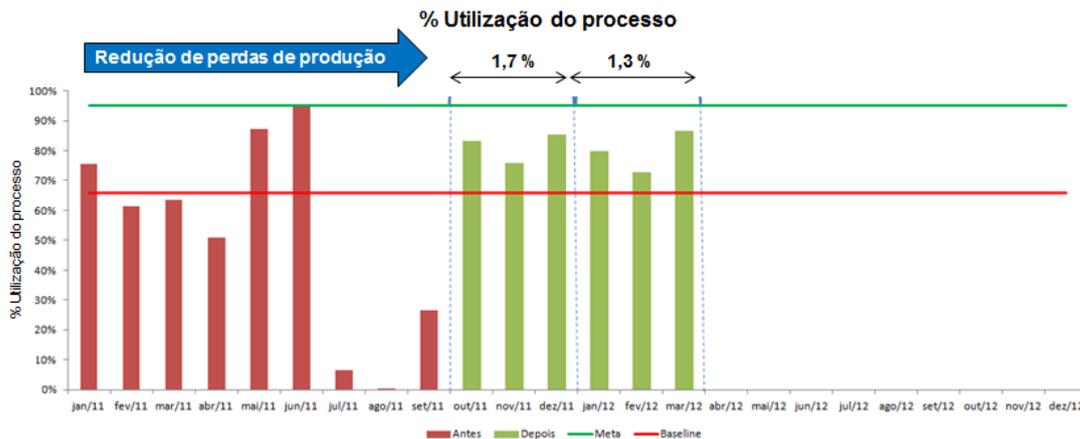


Figura 16. Redução de perdas de produção por meio do aumento do tempo de funcionamento do processo.

Observa-se que, após a realização de ações de melhoria, o percentual de tempo de funcionamento da linha de processo sempre esteve acima do baseline de 65%, o que representa um aumento significativo se comparado ao período anterior. Em função disso, calculou-se uma redução de perdas de produção de 1,7% para o primeiro ciclo de melhorias do projeto e, este resultado foi sustentado em torno de 1,3% para o segundo ciclo, o que representa aproximadamente 60.000 toneladas de produto por ano para a planta. Este resultado é também constantemente monitorado usando a base de dados do PIMS e, caso se observe algum desvio, uma análise de causa-raiz do desempenho das malhas é realizada por meio das ferramentas de CLPM e ações corretivas são mapeadas visando manter o processo dentro dos limites especificados de controle.

5.3 Estudo de Caso 3: Aumento de Produtividade

A Figura 17 ilustra a etapa de classificação da planta de Timbopeba. A bomba de polpa BP1 opera com velocidade fixa enquanto que BP2 possui inversor de frequência que permite a variação de sua velocidade de operação. Devido a restrições da BP1, em momentos de distúrbios no nível do tanque CX100 e/ou variações da velocidade da BP2 provocam-se grandes perturbações na vazão e/ou densidade de polpa bombeada pela BP1, o que conseqüentemente limita a produção dessa linha de processo.

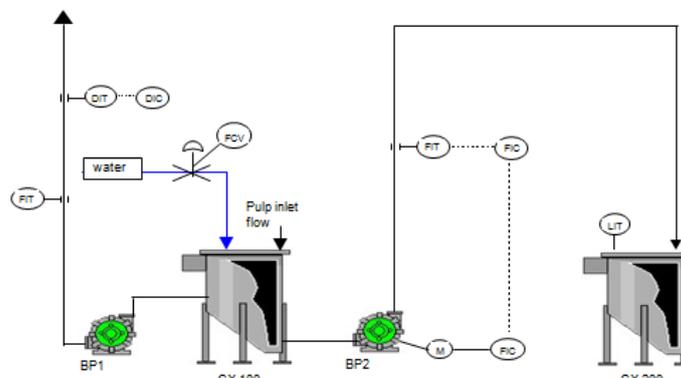


Figura 17. Fluxograma da etapa de classificação da planta de Timbopeba.

Para maximizar a produção, as equipes de processo, operação e automação analisaram os dados históricos para entender as condições operacionais atuais deste processo. Baseado nisso, algumas ações foram implementadas:

- implementação de estratégia de controle de restrição (*over ride*);
- implementação de estratégia de controle em cascata no tanque de polpa; e
- redefinição de procedimentos e parâmetros operacionais.

Nesta etapa, o software de CLPM foi usado para monitorar o desempenho das malhas de controle e as novas estratégias implementadas e para sintonizar os parâmetros de controle que permitissem atender os objetivos definidos para esta operação.

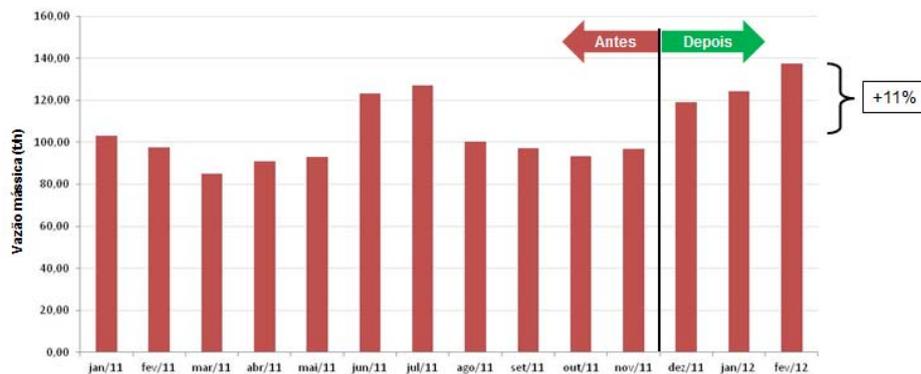


Figura 18. Aumento de produtividade na linha de classificação de Timbopeba.

Com base nos dados históricos do PIMS, a figura 18 mostra o gráfico de tendência da vazão mássica média (t/h) desta linha de processo. Após as atividades de melhoria, a produtividade aumentou cerca de 11%, o que corresponde a um aumento de 100.000 toneladas por ano. Além disso, vale a pena citar os benefícios intangíveis alcançados, como o menor número de intervenções no processo e satisfação do cliente.

A Tabela 1 apresenta os resultados tangíveis obtidos até o final do segundo ciclo de melhoria, o que corresponde a uma redução de perdas de produção correspondente a aproximadamente 200.000 toneladas de produto final por ano. Nota-se que o maior resultado individual, obtido na planta de Timbopeba, foi alcançado no segundo ciclo. Os demais foram validados ao final do primeiro ciclo do trabalho e foram positivamente sustentados e/ou melhorados neste segundo ciclo (o que demonstra que parte do resultado projetado para o ano já foi de fato capitalizado).

Tabela 1. Resumo dos resultados tangíveis obtidos nos dois primeiros ciclos de melhoria

Site	Unid. Operacional	Oportunidade/ direcionador de negócio	Resultados (ton/ano)		
			1º ciclo	2º ciclo	Próximos ciclos
Alegria	Flotação	Redução de perdas de transbordo em tanques	720 ton	720 ton	
		Recuperação metalúrgica	2,950 ton	3,900 ton	
Brucutu	Usina de beneficiamento	Redução de perdas de produção	25,656 ton	31,023 ton	
Cauê	Separação magnética	Aumento de utilização de equipamentos do processo	24,957 ton	28,340 ton	
			30,884 ton	32,706 ton	
Timbopéba	Planta de classificação	Linha 1 (CX3041) – Redução de perdas de produção	762 ton	560 ton	
		Linha 2 (CX3051) – Redução de perdas de produção	575 ton	560 ton	
		Aumento de produtividade		100.000 ton	
	TOTAL	9970 6495	86506 ton	197.809 ton	

Esta seção apresentou os estudos de caso mais relevantes que contribuíram para efetivar os bons resultados mostrados na tabela acima. Além disso, vale a pena destacar os resultados intangíveis obtidos, como redução da variabilidade do processo, menor manutenção de equipamentos e melhor integração entre as equipes locais. Cita-se ainda que a meta de melhoria das notas das malhas de controle foi atingida, com impactos positivos diretos no desempenho do processo e nos resultados anuais da equipe interna da Vale. Finalmente, é necessário garantir que estes resultados se mantenham ao longo do tempo e dessa forma, a sustentabilidade somente pode ser alcançada por meio de um programa de otimização contínuo e de longo prazo que combine as tecnologias específicas, o comprometimento de especialistas qualificado e uma metodologia consolidada de trabalho.

6 CONCLUSÃO

Conceitos de otimização de processos industriais têm sido discutidos e publicados na comunidade técnica há vários anos. Os benefícios com estes esforços são mais claros e tangíveis a cada dia, mas ainda assim as empresas ignoram seu verdadeiro potencial. É comum encontrar pequenos projetos específicos em desenvolvimento na maioria das indústrias, mas não com uma abordagem adequada de um amplo programa, que considere as pessoas, metodologia e tecnologia. Este artigo mostrou a nova abordagem para gerenciamento de malhas de controle nos cinco diferentes sites da Vale DIFS em Minas Gerais. Aproximadamente mil malhas de controle e suas estratégias estão sendo monitoradas por uma equipe dedicada em um programa de otimização de longo prazo focado na identificação e viabilização de oportunidades de melhoria de processos.

A execução de ciclos periódicos de melhoria, que abrange desde o diagnóstico aprofundado até a avaliação de resultados, e o alto comprometimento das equipes locais alcançado com o “grupo de malhas” representam a base para a nova estratégia de trabalho. A combinação de uma visão estratégica remota com esforços locais de melhoria operacional pode melhorar significativamente o sucesso de programas de otimização e controle de processos. A definição de objetivos estratégicos associados à recompensa e a comparação de desempenho de

diferentes plantas também contribuem para aumentar o engajamento das equipes dos sites pela busca da excelência operacional, além de criar e sustentar uma cultura corporativa de melhoria contínua. Os especialistas de otimização de empresas parceiras, alocados em cada site com a visão tanto operacional quanto estratégica, e a supervisão de otimização interna da Vale DIFS definem um novo padrão necessário para a estrutura da equipe de trabalho. Finalmente, o uso adequado das soluções tecnológicas disponíveis, incluindo ferramentas de avaliação de desempenho de malhas de controle, o PIMS, sistemas de manutenção de instrumentação e etc. completam os requisitos necessários para um programa bem sucedido e duradouro de otimização de processos.

O sucesso mencionado pode ser percebido pelos resultados tangíveis alcançados até o final do 2º ciclo do projeto. Após oito meses de desenvolvimento do programa de otimização, foram validados por engenheiros de processos das plantas vários resultados de redução de perdas de produção, representando aproximadamente 200.000 toneladas de minério de ferro por ano. Além disso, as malhas de controle são constantemente monitoradas e seus desempenhos têm sido melhorados ao longo do tempo, que por sua vez, impactam em baixa variabilidade do processo, melhor eficiência de manutenção e menor número de intervenções manuais. Feedbacks positivos de engenheiros das plantas de todos os sites têm sido recebidos, confirmando que o alto engajamento alcançado com a participação das equipes locais é um dos principais fatores dos bons resultados observados.

Em resumo, a solução proposta neste trabalho pode ser considerada uma alternativa interessante para plantas industriais em geral favorecerem o sucesso de seus esforços de otimização de processos, evitando o problema crônico de falta de sustentabilidade e, conseqüentemente, descrédito pelas equipes da planta. Uma vez que for alcançada uma condição mais consolidada do controle regulatório, com as melhorias documentadas e os resultados devidamente sustentados, a implementação de soluções de controle avançado serão mais eficazes e poderão trazer resultados ainda superiores. Além disso, a gestão associada de outros ativos de automação e produção (como instrumentação, sistemas de controle, redes de campo, equipamentos de produção, etc.) deve ser realizada, o que representa outro enorme conjunto de possibilidades e oportunidades.

Agradecimentos

Agradecemos à Vale e à Accenture pela oportunidade de desenvolvimento deste trabalho inovador e de grande valor para processo produtivo.

REFERÊNCIAS

- 1 Torres, B., Fonseca, M., Passos, L. & Faria, D. (2004) *Avaliação de desempenho, diagnóstico automático e sintonia de malhas de controle auxiliados por software dedicado*. Revista Controle & Instrumentação. Ed. 98.
- 2 Oliveira Jr, H. G., Oliveira, L. C. R., Torres, B. S. (2007). Métodos de Monitoramento, Redução e Controle de Variabilidade em Processos Industriais, revista Intech, N° 92, págs. 16 a 22.
- 3 Silva, J. L., Carvalho, F. B., Torres, B. S. (2010). Industrial Process Optimisation. Automining2010, II International Congress on Automation in the Mining Industry, Santiago/Chile, 10-12 November.

- 4 Torres, B. S., Faria, D. C., Pessali, G. L. A. (2008). Operational Intelligence Center - The Path for Operational Excellence, Expertune Users Conference, Houston, Texas, 23-25 de abril.
- 5 Faria, D., Costa, C., Oliveira, E., Carvalho, F., Rocha, L. (2009) *Centro de Inteligência Operacional – Conceito e Aplicação Prática. 13º Seminário de Automação de Processos – ABM.*