

INOVAÇÃO SISTEMÁTICA APLICADA A SISTEMAS INDUSTRIAIS DE POLIMERIZAÇÃO

José Jorge Baptista de Alencar Monteiro

Engenheiro Químico pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro-UFRRJ

jjormonic@ig.com.br (Brasil)

RESUMO

Considere um sistema projetado para realizar reações de polimerização exotérmicas usando cadeia de reatores em série ao longo da qual a temperatura deve ser mantida abaixo dos dez graus Celsius para garantir propriedades finais adequadas do polímero produzido. O sistema enfrenta um segundo fator igualmente crítico na tendência do polímero em aderir sobre todas as superfícies de contato ao longo da cadeia de reatores, prejudicando a troca térmica. Como aumentar a produtividade do referido sistema mantendo todas as especificações do produto sem investimentos de grande vulto? As soluções usuais, como a inclusão de novos reatores, quebrariam uma ou mais das restrições impostas. Este desafio configura uma oportunidade típica para a aplicação das ferramentas e conceitos TRIZ (Teoria da Solução de Problemas Inventivos). Este artigo demonstrará a aplicação de tais ferramentas de forma estruturada, identificada como **Inovação Sistemática**, buscando a geração de soluções inventivas que atendam a todas as condições impostas.

Palavras-chave: Triz; inovação sistemática; polimerização; produtividade; contradição.

This is an Open Access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).

1 INTRODUÇÃO

Os objetivos deste artigo não se restringem à demonstração da **Inovação Sistemática** aplicada à situação prática identificada no resumo, mas incluem também apresentar de forma sucinta os princípios básicos da TRIZ em uma sequência sugerida de uso.

A TRIZ (Teoria da Solução de Problemas Inventivos) tem sido desenvolvida pelo cientista russo Heinrich Altshuller e colaboradores desde 1940 com base em extensa análise de milhares de patentes buscando identificar um método objetivo para a geração de soluções sustentáveis e inovadoras acessíveis a profissionais de diversas áreas de especialização. Com os acontecimentos políticos na antiga União Soviética, parte do grupo de pesquisa se transferiu para a Europa e EUA espalhando o conhecimento da TRIZ desde 1990. A TRIZ é baseada na busca de idealidade (máxima disponibilidade de funções com o uso mínimo de recursos) e é apoiada em cinco pilares conceituais: contradições, idealidade, funcionalidade, recursos e tempo / espaço (Mann, 2010a). Contrariamente à tendência usual de evitar situações com exigências conflitantes ou aceitar a perda de características importantes em troca por outras, a TRIZ opera procurando a identificação da contradição associada ao problema sob avaliação. As pesquisas de patentes indicaram que as soluções para problemas complexos ocorrem exatamente quando o inventor elimina tais contradições. Depois da identificação, busca-se a tradução do problema em uma forma mais geral e ampla que permita a utilização dos padrões de solução já identificados por Altshuller (1999) em problemas similares (Figura 1). Tais padrões sempre focam na solução da contradição intrínseca identificada. Na TRIZ, a eliminação da contradição é a chave para a resolução de problemas fazendo com que a situação ou sistema analisados evoluam em direção à idealidade. Para tanto, pode-se utilizar várias ferramentas integrantes da TRIZ. Algumas delas são: Mapa de Contexto, Mapa de Recursos disponíveis, pensando o Problema no Tempo e no Espaço, Resultado Final Ideal, Matriz de Contradições associada aos Quarenta Princípios Inventivos, Exagerando Tamanho-Tempo-Custos, Análise Funcional, Setenta e Seis Soluções Padrão e as Oito Tendências de Evolução.

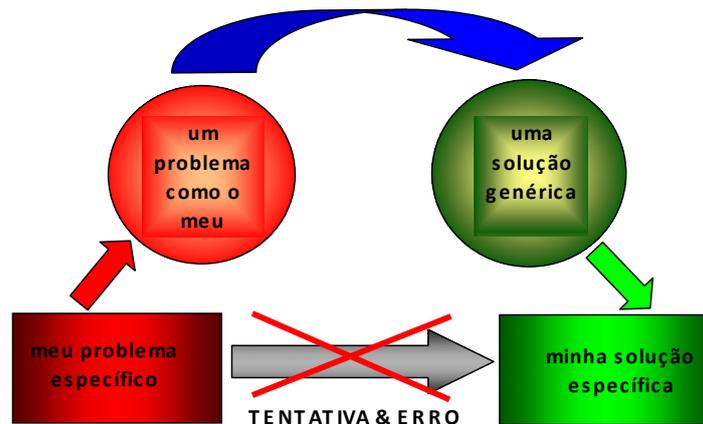


Fig. 1- TRIZ – Abordagem básica
 Fonte: Adaptada de Mann (2010a)

A TRIZ também utiliza o conceito identificado como **inércia psicológica**. Segundo este conceito, ao lidar com qualquer natureza de problema, todos temos tendência natural a procurar a solução dentro da área de conhecimento que nos é próxima. Para os problemas mais complexos, a solução não estará nesta área, tornando inútil todo o esforço. É preciso olhar para outras áreas de conhecimento ou indústrias. Na realidade, a TRIZ propõe formas para quebrar a inércia psicológica e estender uma ponte para as áreas onde as soluções inventivas estarão disponíveis (Figura 2).

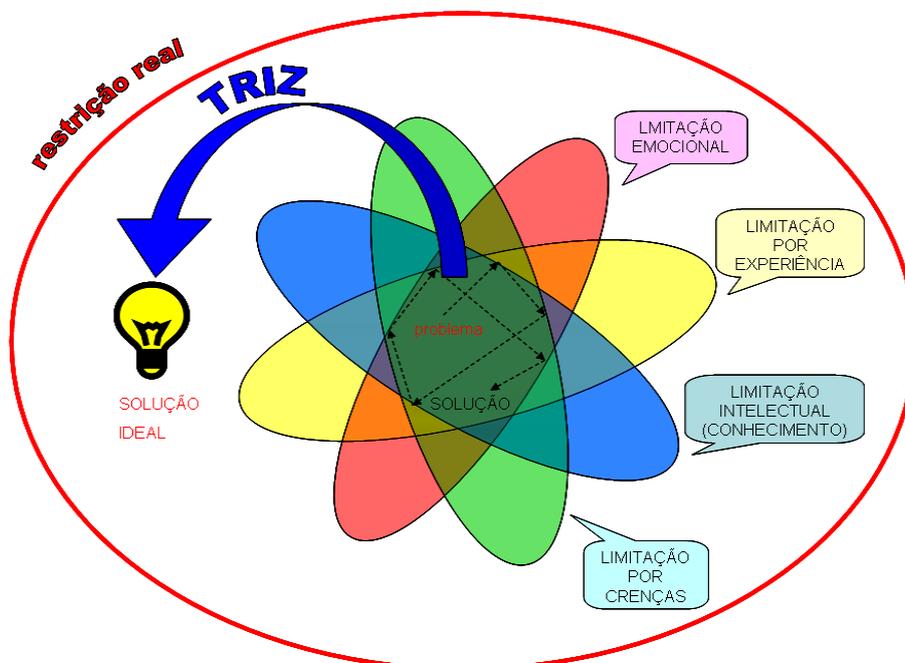


Figura 2 - TRIZ contra inércia psicológica
 Fonte: Adaptada de Silverstein, DeCarlo e Slocum (2008)

Historicamente, esta busca tem sido realizada por tentativa e erro, esperando que por esgotamento surja a solução. Entretanto, este processo é sabidamente demorado. A TRIZ propõe focalizar e acelerar tal processo tornando-o mais eficaz.

Entre as ferramentas mencionadas, a Matriz de Contradições associada aos quarenta princípios inventivos é considerada a ferramenta de entrada pela facilidade de utilização no tratamento das contradições técnicas (quando se tenta melhorar uma característica/parâmetro e uma segunda característica/parâmetro independente deteriora). Portanto, cada contradição técnica identificada é expressa por, ao menos, um par de parâmetros (aquele que precisamos melhorar e o que deteriora com a nossa tentativa de melhorar o primeiro). Para cada par, a Matriz sugere uma série de princípios inventivos que já resolveram a mesma contradição em outros campos do conhecimento, de acordo com pesquisa de Altshuler (1999). A Matriz tradicional contém trinta e nove parâmetros e quarenta princípios inventivos combinados. Originalmente focada em questões técnicas, o uso de TRIZ também se expandiu para a área de gestão.

Através de pesquisas adicionais, Mann (2010a) propôs uma sequência estruturada para tratar os problemas incorporando ferramentas originadas em outras metodologias e identificando-a como **Inovação Sistemática**. Como em outras metodologias, o ciclo pode ser aplicado e repetido se o usuário assim o desejar. De forma similar, Gadd (2011) também propôs alguns ajustes em algumas das ferramentas tradicionais para torná-las mais simples no uso iniciante. A abordagem sequencial estruturada a ser utilizada para a aplicação do conceito de **Inovação Sistemática** neste artigo está baseada em ambas as propostas. Embora haja outras visões a respeito, a integração das duas propostas foi utilizada no sentido de orientar e facilitar o uso das ferramentas por usuários iniciantes sem, contudo, perder a grande capacidade de geração de soluções característica da TRIZ. O ciclo pode ser resumido nas fases a seguir.

a) Definição: Incorpora ferramentas e métodos não TRIZ para definir a situação em termos de identificação do real problema a resolver ou qual o objetivo buscado com o novo sistema ou produto; realiza a auditoria de idealidade da situação atual contra o resultado final ideal; enriquece a visão da situação apresentada através do mapa de contexto e a identifica recursos disponíveis através do mapa de recursos.

b) Seleção: Pode-se selecionar as ferramentas conforme a tabela sugerida por Mann (2010a), na qual situações envolvendo **contradição limitante** demandam ferramentas específicas, ou, como nesta aplicação, visando a gerar o máximo de soluções, considerar o teste sequencial das várias ferramentas, seguindo o fluxo de trabalho.

c) Geração de soluções: O fluxo de trabalho está dividido em dois estágios; no estágio **básico**, são aplicados os conceitos de contradição técnica e física para tratar o problema; a seguir, no estágio **avançado**, realiza-se a análise funcional como um aprofundamento da definição, o que evidencia as relações problemáticas entre os agentes presentes na situação ou sistema em análise. A Análise Funcional é a base que permite avançar para as demais ferramentas como Setenta e Seis Soluções Padrão, Eliminação de Excessos ou Simplificação e outras.

d) Avaliação: Nesta fase avalia-se cada uma das propostas de solução contra os critérios de idealidade propostos por Rantanen e Domb (2008), atribuindo-lhes nota e peso. Finalmente, acrescenta-se o critério relativo à facilidade de implementação e apura-se a aderência consolidada que permitirá ordenar as propostas.

Conforme já mencionado, o ciclo pode ser repetido com base no julgamento do usuário quanto ao número e à qualidade das soluções propostas obtidas até então. Ele tem como objetivo tornar sistemática a busca de soluções para problemas mais complexos ou a busca de alternativas para novos produtos e sistemas, sempre eliminando as contradições identificadas e forçando o sistema ou produto ao longo da sua curva de evolução em direção à idealidade.

2 CONTEXTO

Uma instalação industrial existente projetada para realizar a polimerização a frio contínua precisa para melhorar a produtividade da linha de reatores em cerca de 30%, sem perder as especificações de qualidade do produto e sem investimentos intensivos. A temperatura do meio reacional deve ser mantida abaixo de dez graus centígrados em todos os reatores e o polímero tende a se depositar nas superfícies do sistema, reduzindo a eficácia de controle de temperatura. Como não é possível ampliar o número de reatores ou adicionar uma nova linha de reação devido às restrições de investimento, está estabelecido o desafio. Nesta situação, o simples incremento de vazão dos monômeros e outros fluxos de reagentes conduzem a um polímero de baixa qualidade, não aceito pelo mercado. Quanto maior a vazão pior a qualidade final do polímero, expondo a contradição básica: Produtividade contra qualidade.

A restrição de investimento é colocada aqui como a restrição típica, porém situações em que, mesmo com recursos disponíveis, se queira explorar a existência de alternativas melhores e mais inovadoras para atingir o propósito colocado possibilitam a aplicação da **Inovação Sistemática**.

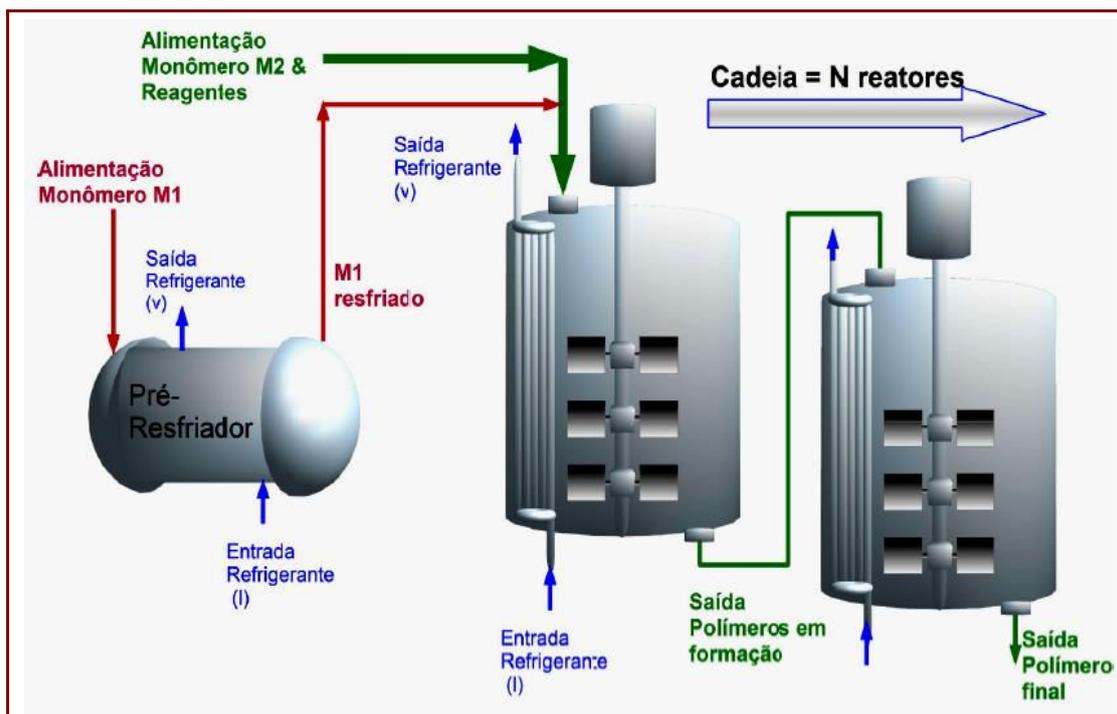


Figura 3 - Ilustração da cadeia de reatores típica

Fonte: Elaborada pelo autor

3 DESENVOLVIMENTO

Para a aplicação da **Inovação Sistemática** com base na TRIZ será usada a sequência integrada abaixo, adaptada de Gadd (2011) e Mann (2010a), que ilustra a definição do problema e uso progressivo de várias ferramentas TRIZ e não TRIZ, principalmente no estágio de definição (entender claramente a situação e tratar corretamente o problema real). Quais ferramentas TRIZ serão mais eficazes ou quanto do fluxo percorrer para encontrar soluções inovadoras, certamente dependerá do tipo de problema a ser tratado e das necessidades do usuário. Mais do que isso, a Figura 4 mostra um panorama das ferramentas disponíveis e um fluxo de trabalho sugerido que ajudará os praticantes iniciantes da TRIZ a encontrar seu próprio caminho e ganhar confiança no método.

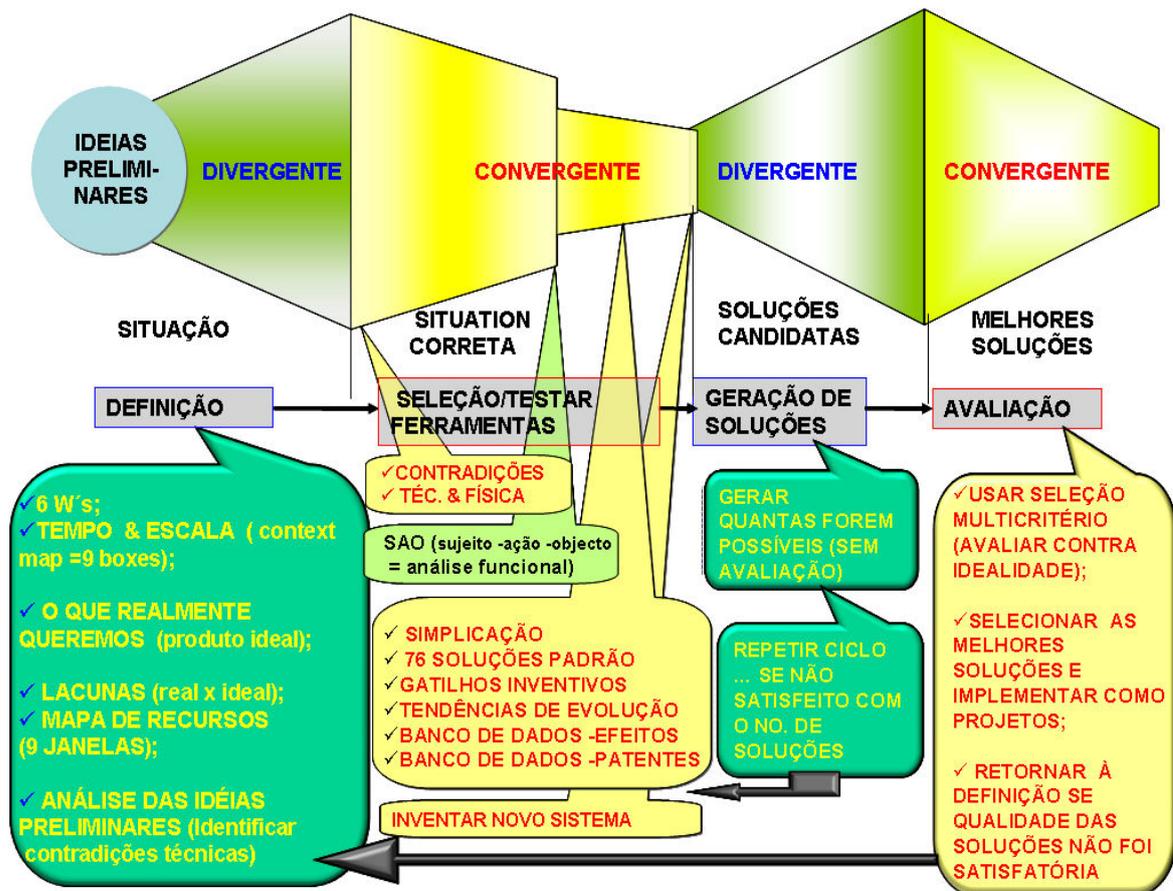


Figura 4 - Fluxo de trabalho da Inovação Sistemática base TRIZ
 Fonte: Elaborada pelo autor com base em Gadd (2011) e Mann (2010a)

4 APLICANDO A INOVAÇÃO SISTEMÁTICA BASE TRIZ À SITUAÇÃO

No caso em foco, com o objetivo de gerar o máximo de potenciais soluções inovadoras, todo o fluxo estruturado de trabalho será percorrido. Entretanto, o usuário deve considerar não só a possibilidade de flexibilizar a sequência sugerida para a aplicação das ferramentas como também a conveniência de as aplicar todas ou não.

4.1 Ideias Preliminares (não provocadas)

Essas ideias preliminares são importantes para registrar todas as propostas imediatas e conhecimentos disponíveis de forma a permitir que o fluxo de trabalho TRIZ avance. Foram listadas 11 propostas de solução. Ao final do processo, sempre é interessante comparar a listagem preliminar com a aquela gerada através do uso da **Inovação Sistemática** baseada na TRIZ.

IDEIAS PRELIMINARES
aumentar capacidade dos reatores chave
aumentar grau de agitação para aumentar troca térmica
aumentar capacidade de cisalhar nos reatores chave
adicionar pré mistura dos monômeros antes do reator
usar catalisador no início da cadeia
aumentar no. de feixes de refrigeração para permitir fluxo maior de amônia
aumentar área de troca dos feixes de refrigeração
tratar superfície dos feixes com produto anti incrustante
alterar pressão de sucção de NH3 para ter salto entálpico maior /maior refrigeração por kg de NH3 evaporado
trocar NH3 por refrigerante mais eficaz
usar refrigeração adicional no corpo do reator

Figura 5- Lista de ideias preliminares

Fonte: Elaborada pelo autor com base em Gadd (2011)

4.2 Avaliação das Ideias Preliminares

Esta avaliação rápida das ideias preliminares espontâneas tem como finalidade identificar potenciais efeitos negativos que podem apontar possíveis contradições associadas.

RESULTADO IDEAL / BENEFÍCIOS	IDEIAS PRELIMINARES	EFEITOS NEGATIVOS
AUMENTAR CAPACIDADE DA SEÇÃO INICIAL CHAVE	aumentar capacidade dos reatores chave	NECESSITA QUE OS DEMAIS REATORES TB AUMENTEM PRODUTIVIDADE
MELHORA CONDIÇÕES DE CONTROLE DA REAÇÃO	aumentar grau de agitação para aumentar troca térmica	INVESTIMENTO EM NOVOS AGITADORES
AUMENTA PRODUTIVIDADE DOS REATORES CHAVE	aumentar capacidade de cisalhar nos reatores chave	DEMANDA AUMENTO DE POTENCIA/MOTOR
RESERVA REATORES PARA REAÇÃO SOMENTE	adicionar pré mistura dos monômeros antes do reator	REQUER NOVOS EQUIPAMENTOS DE MISTURA
AUMENTA VELOCIDADE DE REAÇÃO	usar catalisador no início da cadeia	DEMANDA MAIOR CAPACIDADE DE MISTURA E TROCA TÉRMICA
MELHOR CONTROLE DE TEMPERATURA DA REAÇÃO	aumentar no. de feixes de refrigeração para permitir fluxo maior de amônia	MAIOR POSSIBILIDADE DE INCRUSTAÇÃO AO LONGO DO TEMPO
MELHOR CONTROLE DE TEMPERATURA DA REAÇÃO	aumentar área de troca dos feixes de refrigeração	MAIOR POSSIBILIDADE DE INCRUSTAÇÃO AO LONGO DO TEMPO
MANTER TROCA TÉRMICA EFETIVA POR MAIS TEMPO	tratar superfície dos feixes com produto anti incrustante	REQUER CUIDADO NA LIMPEZA
MELHOR CONTROLE DE TEMPERATURA DA REAÇÃO	alterar pressão de sucção de NH3 para ter salto entálpico maior /maior refrigeração por kg de NH3 evaporado	DEMANDA MAIS ENERGIA DOS COMPRESSORES

Figura 6 – Lista de ideias preliminares – avaliação inicial

Fonte: Elaborada pelo autor com base em Gadd (2011)

5 DEFINIÇÕES

5.1 Descrição do Problema ou Situação

a) Qual é o problema?

Produtividade da área de reação está abaixo do necessário para os objetivos de produção.

b) Por que a produtividade é insuficiente?

Porque o sistema atingiu o seu limite técnico.

c) Por que isto é um problema?

Porque sem o aumento de produtividade os objetivos do negócio não serão atingidos.

d) Por que é necessário atingir tais objetivos?

Porque o direcionamento estratégico da planta exige maior produção.

e) O que realmente queremos? Qual o nosso ideal (benefícios desejados?)

Aumentar produção em 25% com investimento marginal. Manter altos padrões de qualidade do produto.

f) O que nos está impedindo de atingir o ideal?

Aumento simples de vazão no sistema compromete a qualidade do produto.

5.2 Principal Resultado Desejado

5.2.1 Resultado final ideal (o que realmente queremos)

Aumento de produção de 25 a 30%, mantendo o produto dentro das especificações padrão.

Críticos (precisam ser atendidos)

- Produtividade nos reatores 25 a 30% maior;
- Especificação do produto mantida no padrão.

Desejáveis (melhor se atendidos)

- Longo tempo sem limpeza do sistema.

5.3 Mapa de Contexto do Problema ou Situação

Através do mapa de contexto realiza-se uma avaliação do problema/situação a partir das visões de tempo e espaço, utilizando a ferramenta **Nove Janelas ou Caixas**.

	PASSADO	PRESENTE	FUTURO
SUPER-SISTEMA / AMBIENTE	MERCADO COMPETITIVO NO MUNDO POUCA PRESENÇA DE PRODUTO IMPORTADO NO MERCADO LOCAL	MERCADO COMPETITIVO NO MUNDO MAIOR ENTRADA DE PRODUTO IMPORTADO	MERCADO COMPETITIVO NO MUNDO IMPORTAÇÃO DE PRODUTO TOTALMENTE LIVRE
	ÚNICO PRODUTOR NACIONAL CUSTOS DE MANUTENÇÃO ELEVADOS CONTINGENCIADOS	ÚNICO PRODUTOR NACIONAL ALTOS CUSTOS DE MANUTENÇÃO	NOVO PRODUTOR LOCAL CUSTOS DE MANUTENÇÃO OTIMIZADOS
	MATÉRIA PRIMA NACIONAL SEMPRE LIMITADA A UM ÚNICO FORNECEDOR DE GRANDE PORTE	MATÉRIA PRIMA NACIONAL = UM ÚNICO FORNECEDOR DE GRANDE PORTE	MP NACIONAL = AO MENOS 2 FORNECEDORES DE GRANDE PORTE
	PRINCIPAL FORNECEDOR MP É CONTROLADOR DA EMPRESA	FORNECEDORES DE MP NÃO CONTROLAM EMPRESA	SEM CONTROLE CRUZADO COM FORNECEDORES
	CAPACIDADE OCIOSA	CAPACIDADE LIMITADA PELA SEÇÃO DE REAÇÃO	CAPACIDADE OCUPADA ACIMA DE 80%
	OUTRAS PLANTAS DO MESMO GRUPO PRODUZEM O MESMO POLÍMERO	OUTRAS PLANTAS DO MESMO GRUPO PRODUZEM O MESMO POLÍMERO	PLANTA ALVO É A ÚNICA A PRODUZIR O POLÍMERO
	PROBLEMA (SITUAÇÃO)	PRODUTIVIDADE ADEQUADA ÀS NECESSIDADES DE MERCADO	COMO AUMENTAR PRODUTIVIDADE DOS REACTORES EXISTENTES EM 25%?
SEMPRE "COMMODITY"		PRODUTO CONSIDERADO COMO "COMMODITY"	PRODUTO PARCIALMENTE SUBSTITUÍDO POR OUTRO DE MAIOR VALOR AGREGADO
TECNOLOGIA AINDA COMPETITIVA		TECNOLOGIA ANTIGA - SEM EVOLUÇÃO	DESENVOLVIMENTO OU COMPRA DE TECNOLOGIA ATUALIZADA
SUB-SISTEMA (COMPONENTES)	EQUIPAMENTOS/SISTEMAS DENTRO DA SUAS VIDAS ÚTEIS	EQUIPAMENTOS/SISTEMAS ANTIGOS MAS AINDA OPERACIONAIS	EQUIPAMENTOS/SISTEMAS SUBSTITUÍDOS
	EQUIPES EXPERIENTES E COMPROMETIDAS	EQUIPES DE OPERAÇÃO NOVAS E EM TREINAMENTO	EQUIPES TREINADAS
	ESTRUTURA DE MANUTENÇÃO CONSOLIDADA E EXPERIENTE	ESTRUTURA DE MANUTENÇÃO NOVA	ESTRUTURA DE MANUTENÇÃO EFICAZ
	ESTRUTURA LOCAL DE P&D FORTE E EXPERIENTE	ESTRUTURA LOCAL DE P&D SIMPLIFICADA	ESTRUTURA LOCAL DE P&D REFORÇADA
	NENHUM APOIO EXTERNO AO P&D	APOIO P&D CORPORATIVO	APOIO P&D GLOBAL E LOCAL EXTERNO
	BAIXÍSSIMA TAXA DE ROTATIVIDADE DA MÃO DE OBRA ESPECIALIZADA	ALTA TAXA DE ROTATIVIDADE DA MÃO DE OBRA ESPECIALIZADA	ROTATIVIDADE DE MÃO DE OBRA DENTRO DA MÉDIA DO NEGÓCIO

Figura 7- Mapa de Contexto (Diagrama Nove janelas)

Fonte: Elaborada pelo autor com base em Gadd (2011)

Ao focalizar o futuro do sistema com o problema a ser resolvido, o mapa de contexto permite exercitar a expressão do futuro desejável, reforçando a visão do Resultado Final Ideal.

5.4 Mapa de Recursos

Os recursos disponíveis para a solução do problema também são examinados em tempo e espaço através da ferramenta **Nove Janelas**.

	PASSADO	PRESENTE	FUTURO
SUPER-SISTEMA / AMBIENTE	SISTEMA SOBRECARGADO	SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES COM FOLGA	SISTEMA COM MAIOR EFICIÊNCIA
	SISTEMA COM BAIXA CONFIABILIDADE	REFRIGERAÇÃO POR AMÔNIA DISPONÍVEL	SISTEMA MAIS EFICIENTE E MAIS COMPACTO
	SISTEMA DE ÁGUA GELADA	SISTEMA DE ÁGUA GELADA	SISTEMA USANDO FLUIDO TÉRMICO
	ÁREA DISPONÍVEL	ÁREA DISPONÍVEL	ÁREA DISPONÍVEL
	LICENÇAS PENDENTES	LICENÇAS OK	LICENÇAS OK
SISTEMA (SITUAÇÃO)		COMO AUMENTAR PRODUTIVIDADE DOS REATORES EXISTENTES EM 25%?	
	TECNOLOGIA DE MEADOS DO SEC. XX	TECNOLOGIA DE MEADOS DO SEC. XX	NANOTECNOLOGIA
SUB-SISTEMA (COMPONENTES)	POTENCIA DE AGITAÇÃO DISPONÍVEL	POTÊNCIA DE AGITAÇÃO DISPONÍVEL	POTENCIA DE AGITAÇÃO DISPONÍVEL
	MÚLTIPLOS IMPELIDORES POR EIXO/REATOR	MÚLTIPLOS IMPELIDORES POR EIXO/REATOR	TIPOS DIFERENTES DE IMPELIDORES
	DOMÍNIO PLENO DO PROCESSO	CONHECIMENTO DO PROCESSO	DOMÍNIO DO PROCESSO
	ESPECIFICAÇÕES DO PRODUTO CONF. CLIENTES	ESPECIFICAÇÕES DO PRODUTO CONF. CLIENTES	ESPECIFICAÇÕES DO PRODUTO ANTECIPANDO DEMANDAS DOS CLIENTES
	FEIXES TUBULARES COM ÓLEO E INCRUSTADOS	FEIXES TUBULARES DE REFRIGERAÇÃO PROBLEMÁTICOS	FEIXES TUBULARES SEM ÓLEO E SEMPRE LIMPOS
	SIST. FIXO ALIMENTAÇÃO REATORES	SIST. FIXO ALIMENTAÇÃO REATORES	SIST. ALIMENTAÇÃO REATORES FLEXÍVEL
	MONÔMEROS NÃO REAGIDOS REUTILIZADOS	MONÔMEROS NÃO REAGIDOS REUTILIZADOS	CONVERSÃO TOTAL DA POLIMERIZAÇÃO = SEM MONÔMEROS RESIDUAIS

Figura 8 – Mapa de Recursos (Diagrama Nove Janelas)

Fonte: Elaborada pelo autor com base em Gadd (2011)

A utilização dos recursos disponíveis no sistema, ou no ambiente em que ele se encontra, é um dos pilares críticos da TRIZ. O mapa de recursos, ao exercitar os recursos futuros, permite vislumbrar algumas potenciais soluções que serão retomadas de forma mais focada através das próximas ferramentas utilizadas.

5.5 Auditoria de Idealidade

A auditoria de idealidade, conforme proposta por Gadd (2011), consolida os itens que compõem o resultado final ideal e os compara com a situação vigente dando uma visão clara de quão distante estamos do objetivo ideal. O resumo pode ser visto na Figura 9.

IDEALIDADE	SISTEMA EXISTENTE	SISTEMA DESEJADO / IDEAL
PRINCIPAL BENEFÍCIO	PRODUÇÃO INSUFICIENTE PARA NOVAS DEMANDAS	PRODUTIVIDADE DE REAÇÃO SUFICIENTE PARA SUPORTAR PRODUÇÃO DESEJADA
OUTROS BENEFÍCIOS		QUALIDADE DO PRODUTO DE ACORDO COM ESPECIFICAÇÕES DOS CLIENTES
PRINCIPAL PRODUTO / FUNÇÃO (RESULTADO FINAL IDEAL)	PRODUÇÃO NA QUANTIDADE NECESSÁRIA	
CUSTOS ACEITÁVEIS		INVESTIMENTO MARGINAL OU MENOS
CUSTOS INACEITÁVEIS	INVESTIMENTO DE GRANDE PORTE EM AMPLIAÇÃO DE CAPACIDADE	QUALQUER CUSTO INESPERADO
		CUSTOS FIXO UNITÁRIO ELEVADO > BENCHMARK
RISCOS/PROBLEMAS ACEITÁVEIS	PRODUTIVIDADE NÃO SUSTENTÁVEL	PRODUTIVIDADE GARANTIDA
RISCOS/PROBLEMAS INACEITÁVEIS	RISCOS DE SEGURANÇA E AMBIENTAIS	RISCOS DE SEGURANÇA, AMBIENTAIS, QUALIDADE
RESTRIÇÕES		UTILIZAR EQUIPAMENTOS E SISTEMAS EXISTENTES AO MÁXIMO

Figura 9 – Auditoria de idealidade

Fonte: Elaborada pelo autor com base em Gadd (2011)

Nota: É crítico que a etapa de definição seja realizada cuidadosamente de forma a tornar o mais claro possível o problema em questão e quais são efetivamente os objetivos a buscar. É preciso confirmar se há realmente um problema e que sua definição está correta antes de gastar tempo e energia tentando resolvê-lo. Ao longo deste processo, vários conceitos da TRIZ já vão sendo introduzidos, preparando terreno para etapa de geração de alternativas de solução.

5.6 Seleção de Ferramentas TRIZ

Neste estágio, as ferramentas mais eficazes podem ser selecionadas em função do tipo de situação enfrentado (contradição limitante), conforme Mann (2010a). Para o caso em exame esta fonte indica as ferramentas abaixo como mais eficazes.

SITUAÇÕES	1a. OPÇÃO	2a. OPÇÃO	3a. OPÇÃO	4a. OPÇÃO
CONTRADIÇÃO LIMITANTE	ELIMINAÇÃO DA CONTRADIÇÃO FÍSICA	ELIMINAÇÃO DA CONTRADIÇÃO TÉCNICA	TENDÊNCIAS DE EVOLUÇÃO	BANCO DE DADOS DE EFEITOS

Figura 10 – Ferramentas sugeridas para a situação de contradição limitante

Fonte: Adaptada de Mann (2010a)

Alternativamente, realiza-se o teste sequencial das várias ferramentas disponíveis no fluxo de trabalho TRIZ. Esta foi a abordagem utilizada neste artigo.

5.7 Identificando a Contradição Técnica

Conforme já mencionado anteriormente, a Contradição Técnica caracteriza-se pela situação na qual ao tentar resolver um problema tentando melhorar uma característica/parâmetro e uma segunda característica/parâmetro, independente e igualmente crítica, é prejudicada.

No caso em exame, temos que ao tentar aumentar a vazão através da cadeia de reatores, a qualidade é prejudicada.

Como a situação é de natureza técnica, utilizou-se a Matriz de Contradições tradicional.

Os pares de parâmetros da matriz que se aproximam do caso analisado são:

a) Parâmetro a ser melhorado: ***SPEED*** (9)

Parâmetro prejudicado: ***MANUFACTURING PRECISION*** (29)

b) Parâmetro a ser melhorado: ***SPEED*** (9)

Parâmetro prejudicado: ***AMOUNT OF SUBSTANCE*** (26)

c) Parâmetro a ser melhorado: ***PRODUCTIVITY*** (39)

Parâmetro prejudicado: ***MANUFACTURING PRECISION*** (29)

d) Parâmetro a ser melhorado: ***PRODUCTIVITY*** (39)

Parâmetro prejudicado: ***AMOUNT OF SUBSTANCE*** (26)

Na Figura 11 podemos ver as regiões da Matriz de Contradições mostrando a interseções dos parâmetros selecionados e os princípios inventivos sugeridos para a solução de problemas com estes pares de contradições (células com fundo verde).

TECH		Worsening Feature →		Improving Feature ↓								
		Loss of Substance	Loss of Information	Loss of Time	Quantity of substance	Reliability	Measurement accuracy	Manufacturing precision	Object-affected harmful factors			
		23	24	25	26	27	28	29	30			
6	Area of stationary object	10, 14, 18, 39	30, 16	10, 35, 4, 18	2, 18, 40, 4	32, 35, 40, 4	26, 28, 32, 3	2, 29, 18, 36	27, 2, 39, 35			
7	Volume of moving object	36, 39, 34, 10	2, 22	2, 6, 34, 10	29, 30, 7	14, 1, 40, 11	25, 26, 28	25, 28, 2, 16	22, 21, 27, 35			
8	Volume of stationary object	10, 39, 35, 34		35, 10, 32, 18	35, 3	2, 35, 16		35, 10, 25	34, 39, 19, 27			
9	Speed	10, 13, 28, 38	13, 26		10, 19, 29, 38	11, 35, 27, 28	28, 32, 1, 24	10, 28, 32, 25	1, 28, 35, 23			
10	Force (Intensity)	8, 35, 40, 5		10, 37, 36	14, 29, 18, 36	3, 35, 13, 21	35, 40, 23, 24	28, 29, 37, 36	1, 35, 40, 18			

TECH		Worsening Feature →		Improving Feature ↓								
		Loss of Substance	Loss of Information	Loss of Time	Quantity of substance	Reliability	Measurement accuracy	Manufacturing precision	Object-affected harmful factors			
		23	24	25	26	27	28	29	30			
28	Measurement accuracy	10, 16, 31, 28		24, 34, 28, 32	2, 6, 32	5, 11, 1, 23	+		28, 24, 22, 26			
29	Manufacturing precision	35, 31, 10, 24		32, 26, 28, 18	32, 30	11, 32, 1		+	26, 28, 10, 36			
38	Extent of automation	35, 10, 18, 5	35, 33	24, 28, 35, 30	35, 13	11, 27, 32	28, 26, 10, 34	28, 26, 18, 23	2, 33			
39	Productivity	28, 10, 35, 23	13, 15, 23		35, 38	1, 35, 10, 38	1, 10, 34, 28	18, 10, 32, 1	22, 35, 13, 24			
		23	24	25	26	27	28	29	30			

Figura 11- Matriz de Contradições - parâmetros selecionados & princípios inventivos sugeridos

Fonte: Adaptada de Gadd (2011)

Tentando ampliar e esgotar ao máximo a cobertura da Matriz de Contradições, além da abordagem tradicional anterior, foi utilizada a abordagem adicional proposta por Mann (2010b), na qual a seleção dos princípios inventivos é realizada com base apenas nos parâmetros a serem

melhorados, ou seja, *SPEED* e *PRODUCTIVITY*. Para cada um deles, são selecionados os princípios inventivos com base na ocorrência típica: **Sempre ocorrem; mais frequentes na natureza; considerados na média; especiais/mais frequentemente combinados.**

Nas figuras seguintes podemos ver um resumo dos princípios sugeridos através de cada rota.

PARÂMETROS		PRINCÍPIOS INVENTIVOS SUGERIDOS			
A MELHORAR	PREJUDICADOS	MATRIZ TRADICIONAL (#1)			
SPEED	MANUFACTURING PRECISION	10= Preliminary Action;	28= Mechanics substit /another sense	32= Colour Change	25= Self Service
SPEED	AMOUNT OF SUBSTANCE	19= Periodic Action	29= Pneumatics & Hydraulics	38= Strong Oxidants	
PRODUCTIVITY	MANUFACTURING PRECISION	18= Mechanical Vibration	1= Segmentation		
PRODUCTIVITY	AMOUNT OF SUBSTANCE	35= Parameter Change			

Figura 12: Princípios inventivos sugeridos – Matriz tradicional

Fonte: Adaptada de Gadd (2011)

PARÂMETROS		MATRIX 2010 (#1)			
SPEED	MANUFACTURING PRECISION	16= Partial or Excessive Actions	23= Feedback	24= Intermediary	
SPEED	AMOUNT OF SUBSTANCE				
PRODUCTIVITY	MANUFACTURING PRECISION	26= Copying			
PRODUCTIVITY	AMOUNT OF SUBSTANCE	8= Anti-weight			

PARÂMETROS A MELHORAR	MATRIX 2010 (#1 & #2)			
	Sempre Ocorrem	Mais Freq. Na Natureza	Considerados na Média	Especiais/ Combinados
SPEED		9= Shape; 12= Duration of Action of Moving Obj.; 3= Length/ Angle of Moving Obj.; 24= Function Efficiency	13= Duration of Action of Stationary Obj.; 2= Weight of Stationary Obj.; 5= Area of Moving Obj.	47= Introduce na Element with Stored Energy; 50= Field Substitution; 57= Reduce Stage of Energy Transformation
PRODUCTIVITY		27= Loss Of Energy; 34= Easy of Operation; 7= Vol. Of Moving Obj.	15= Force/ Torque by Stationary Obj.	49= Ability to Detect/ Measure ; 50= Create Std. For Comparison; 54= Specialization

Figura 13 - Princípios inventivos adicionais

Fonte: Adaptada de Mann (2010b)

Nota #1: Eliminadas as redundâncias

Nota #2: Focalizando apenas os princípios que geraram propostas

A aplicação dos princípios sugeridos, um por vez, ao problema/situação em foco, orientou a geração de propostas de solução.

Foram geradas 19 propostas de solução com base na Matriz de Contradições tradicional e em Mann (2010b), conforme a Figura 14.

TECH	#RESULTADO DA TEMPERATURA NA SAÍDA DE CADA REATOR POSTERIOR AJUSTA ROTAÇÃO DO SEU AGITADOR
TECH	#RESULTADO PERIÓDICO DA VISCOSIDADE MOONEY COMANDA AJUSTE DA VAZÃO NA CADEIA
TECH	#DRENAR PERIODICAMENTE O ÓLEO DOS FEIXES TUBULARES DE AMÔNIA
TECH	#USAR FEIXES TUBULARES COM MATERIAL DE MAIOR CONDUÇÃO TÉRMICA QUE POSSAM SER MAIS DELGADOS E COM MESMA RESISTÊNCIA MECÂNICA
TECH	#ELETROPOLIR SUPERFÍCIE DOS FEIXES TUBULARES DE AMÔNIA (MAIOR CAP. DE RESFRIAMENTO POR MAIS TEMPO)
TECH	#APLICAR ULTRASOM NOS FEIXES TUBULARES DE FORMA CÍCLICA PARA MANTÊ-LOS LIMPOS
TECH	#UTILIZAR REVESTIMENTO EXTERNO NOS FEIXES TUBULARES DE FORMA A REPELIR AS PARTÍCULAS DO POLÍMERO
TECH	#DETERMINAÇÃO PERIÓDICA OU CONTÍNUA DA VISCOSIDADE AO LONGO DA CADEIA E FINAL
TECH	#USAR AMÔNIA EM TEMPERATURA MAIS BAIXA NOS REATORES CRÍTICOS
TECH	#AJUSTAR CISALHAMENTO VARIANDO A ROTAÇÃO DOS IMPELIDORES NOS REATORES INICIAIS (INICIAÇÃO) CONF. AVANÇO DA REAÇÃO
TECH	#INSTALAR FEIXES TUBULARES DE REFRIGERAÇÃO ADICIONAIS COMO CHICANAS NOS REATORES SUBSEQUENTES (PROPAGAÇÃO)
TECH	ATOMIZAÇÃO DOS COMPONENTES /CAPACIDADE DE MISTURA NOS REATORES INICIAIS (INICIAÇÃO)
TECH	#USAR IMPELIDORES COM ÂNGULO DE PÁ VARIÁVEL
TECH	#ALIMENTAR SIMULTANEAMENTE 2 REATORES INICIAIS INICIAÇÃO(INICIAÇÃO)
TECH	#IONIZAR ALGUNS DOS COMPONENTES PARA ACELERAR A REAÇÃO
TECH	#ESTABELECEER CURVA DE CONVERSÃO DE SÓLIDOS E VISCOSIDADE PADRÃO
TECH	#AUMENTAR ALTURA /VOL. DOS REATORES SUBSEQUENTES (PROPAGAÇÃO)
TECH	#INSTALAR BOMBA PARA FORÇAR FLUXO ATRAVÉS DOS REATORES
TECH	#USAR ANALISADORES AO LONGO DA CADEIA DE REATORES PARA PERMITIR AJUSTE AUTOMÁTICO DOS COMPONENTES DA REAÇÃO

Figura 14 – Propostas de solução usando a Matriz de Contradições

Fonte: Elaborada pelo autor

5.8 Identificando a Contradição Física

Ao longo das pesquisas de Altshuller e colaboradores, foi verificado que em algumas situações a Matriz não era completamente efetiva e apresentava limitações. Desta forma, a recomendação adotada foi o aprofundamento da contradição tornando-a mais radical. Isto foi feito através da identificação da Contradição Física, na qual um mesmo parâmetro está exposto a exigências antagônicas de forma a resolver o problema (p. ex., para obter um determinado resultado desejado, a temperatura deve estar alta e baixa simultaneamente).

No caso em avaliação, fica claro que para aumentar a produtividade do sistema precisamos que a reação seja RÁPIDA/ ACELERADA, enquanto para garantir a qualidade do produto final precisamos que a reação seja LENTA. Para o tratamento da Contradição Física são utilizados os princípios de Separação (Separação por Espaço, Separação no Tempo, Separação por Condição e Separação por Escala, se nenhuma das anteriores for aplicável). A definição do tipo de separação aplicável orientará os princípios inventivos recomendados para a solução. Para identificação do tipo de separação aplicável aplica-se uma série de quatro perguntas básicas:

=> **Espaço?**

-Onde preciso que a reação seja RÁPIDA?

-Nos reatores subsequentes da cadeia (propagação)

- Onde preciso que a reação seja LENTA?

-Nos reatores iniciais da cadeia (Iniciação)

#Locais diferentes ... a separação no espaço foi confirmada!

Aplicando as demais perguntas para fins de demonstração.

=> **Tempo?**

-Quando preciso que a reação seja RÁPIDA?

- Sempre.

-Quando preciso que a reação seja LENTA?

- Sempre

#Período de tempo coincidente; A separação por tempo não ocorreu.

=> **Condição?**

-Em que condição a reação precisa ser RÁPIDA?

- Se houver produção.

-Em que condição a reação precisa ser LENTA?

-Se houver produção.

#Condição coincidente; A separação por condição não ocorreu.

=> **Por Escala?**

Não utiliza perguntas específicas. Usada somente se nenhuma das anteriores se adequar; está baseada em três níveis: Supersistema / Sistema / Subsistema.

Com a forma de separação identificada (por espaço), os princípios inventivos sugeridos são os mostrados na Figura 15.

TIPO DE SEPARAÇÃO	S/N	PRINCÍPIOS INVENTIVOS SUGERIDOS
ESPAÇO	SIM	2= Taking Out; 3= Local Quality; 17= Another Dimension; 13= Other Way Round; 14= Curvatura; 7= Nested Doll; 30= Flexible shells/thin films 4= Assimetry; 24= Intermediary
TEMPO	NÃO	
CONDIÇÃO	NÃO	
SISTEMA	NA	

Figura 15 - Princípios inventivos sugeridos para separação no espaço

Fonte: Adaptada de Gadd (2011)

Os princípios sugeridos guiarão a busca por soluções.

Eliminando as redundâncias com outras ferramentas, foram geradas nove propostas de solução, conforme a Figura 16.

PHY	#COMBINAR IMPELIDORES DIFERENTES NO MESMO REATOR DE ACORDO COM NECESSIDADE DO PROCESSO
PHY	#ADEQUAR REATORES SUBSEQUENTES (PROPAGAÇÃO) PARA MÁX. CAPACIDADE DE BOMBAMENTO/FLUXO E RESFRIAMENTO
PHY	#RETIRAR EFEITO CISALHANTE NA AGITAÇÃO DOS REATORES SUBSEQUENTES DA CADEIA (PROPAGAÇÃO)
PHY	#INSTALAR CAMISA INTERNA COM NH3 NOS REATORES SUBSEQUENTES (PROPAGAÇÃO)
PHY	#ADAPTAR CADEIA ÚNICA PARA 2 CADEIAS INICIAIS DE REAÇÃO (3R CADA) DESCARREGANDO PARA 1 ÚNICA CADEIA POSTERIOR DE MAIOR CAPACIDADE DE RESFRIAMENTO
PHY	#AUMENTAR DIÂMETRO DAS TUBULAÇÕES ENTRE REATORES/ AUMENTAR DIÂMETRO DOS BOCAIS DE ENTRADA E SAÍDA DOS REATORES
PHY	#ADEQUAR PRIMEIROS REATORES PARA MÁXIMO CISLHAMENTO SEM PERDER CAPACIDADE DE RESFRIAMENTO
PHY	#ENCAMISAR & INSTALAR ALETAS INTERNAS NAS TUBULAÇÕES ENTRE REATORES (FORÇAR MOVIMENTO ESPIRAL DO LÁTEX)
PHY	#ADICIONAR CARGA ELÉTRICA AOS FEIXES TUBULARES PARA REPELIR PARTÍCULAS DE POLÍMERO DA SUPERFÍCIE (MATERIAIS DE MESMA CARGA SE REPELEM)

Figura 16- Propostas geradas com base na solução da Contradição Física

Fonte: Elaborada pelo autor

Neste ponto, o ciclo básico do fluxo de trabalho da **Inovação Sistemática** baseada na TRIZ está concluído gerando 17 propostas de solução. A critério do usuário, pode-se avançar diretamente para o estágio de avaliação e seleção das propostas ou continuar para o ciclo avançado. Esta última opção permite gerar novas propostas utilizando um conjunto adicional de ferramentas. Para utilizar

O resumo da Análise Funcional é expresso pela Figura 18, identificada como SAO (sujeito – ação – objeto), que mostra as três entidades participantes de cada relação e sua caracterização conforme Gadd (2011). Tal tabela guiará a aplicação das ferramentas seguintes.

CAT	SUBJECT	ACTION	OBJECT	FUNCTION		TYPE
	ATIVADOR	ENERGIZA	REAGENTES	ATIVAÇÃO	INICIA REAÇÃO	
	REATORES INICIAIS	CONTÊM	REAGENTES	CONTENÇÃO	Mantém reagentes próximos	OK
	REATORES POSTERIORES	CONTÊM	LATEX DO POLIMERO	CONTENÇÃO	mantém latex confinado	OK
	MOTOR	GIRA	IMPELIDORES INICIAIS	ACIONAR	movimenta agitador	OK
	MOTOR	GIRA	IMPELIDORES POSTERIORES	ACIONAR	movimenta agitador	OK
I	IMPELIDORES INICIAIS	MISTURAM	REAGENTES	contato dos reagentes	acelera reação	INSUFICIENTE
I	IMPELIDORES INICIAIS	bombeiam	LATEX DO POLIMERO	FLUXO DO LATEX P/ AUMENTAR TROCA TERMICA	Remoção do calor de reação	INSUFICIENTE
I	IMPELIDORES POSTERIORES	bombeiam	LATEX DO POLIMERO	FLUXO DO LATEX P/ AUMENTAR TROCA TERMICA	Remoção do calor de reação	INSUFICIENTE
A	IMPELIDORES POSTERIORES	instabilizam	LATEX DO POLIMERO		(SUJA FEIXE TUBULAR INTERNO)	AMEAÇA
	PRE RESFRIADOR	RESFRIA	REAGENTES	RESFRIAR	AJUSTA TEMPERATUR A INICIAL	OK
I	REAGENTES	GERAM	LATEX DO POLIMERO	POLIMERIZAR	GERAR POLÍMERO	INSUFICIENTE
	REATORES POSTERIORES	CONTÊM	LATEX DO POLIMERO	CONTENÇÃO	mantem latex confinado	OK
I	REATORES POSTERIORES	CONSOLIDAM	LATEX DO POLIMERO	COMPLETAR CONVERSÃO	OBTER POLÍMERO	INSUFICIENTE
	LATEX	AQUECE	FEIXE TUBULAR INTERNO	AQUECER	REMOVE CALOR DE REAÇÃO	OK
A	LATEX	SUJA	FEIXE TUBULAR INTERNO		(BAIXA TROCA TÉRMICA)	AMEAÇA
I	FEIXE TUBULAR INTERNO	RESFRIA	LATEX DO POLIMERO	RESFRIAR	(CONTROLE DE TEMP RUIM)	INSUFICIENTE
I	FEIXE TUBULAR INTERNO	VAPORIZA	REFRIGERANTE	VAPORIZAR	(TROCA TÉRMICA RUIM)	INSUFICIENTE
	FEIXE TUBULAR INTERNO	CONTEM	REFRIGERANTE	CONTER		OK
I	REFRIGERANTE	RESFRIA	FEIXE TUBULAR INTERNO	RESFRIAR	REMOVER CALOR DE REAÇÃO	INSUFICIENTE
I	REFRIGERANTE	arrasta	ÓLEO LUBRIFICANTE		(CONTAMINA FEIXES)	INSUFICIENTE
A	ÓLEO LUBR.	INUNDA	FEIXE TUBULAR INTERNO		(REDUZ CAP. DE REMOÇÃO DE CALOR)	AMEAÇA

Figura 18- SAO: Relações problemáticas identificadas

Fonte: Elaborada pelo autor com base em Gadd (2011)

5.10 Simplificação & Setenta e Seis Soluções Padrão

Estas são ferramentas adicionais que dependem da realização prévia da Análise Funcional.

5.10.1 Simplificação (*trimming*)

Esta ferramenta é operada através de uma série de perguntas cujo foco é eliminar as relações problemáticas ou seus agentes e objetos. As perguntas típicas estão a seguir.

- Poderíamos eliminar a função?;
- Poderia o objeto desempenhar a função desejada ele próprio?;
- Seria possível eliminar o sujeito/agente ou o objeto?;
- Seria possível eliminar o sujeito/agente ou o objeto logo após o desempenho da função?;
- Seria possível eliminar alguma parte o sistema?;
- Algum outro agente ou objeto poderia desempenhar a função desejada?;
- Algum recurso disponível poderia desempenhar a função?

As respostas ao questionário, se positivas, guiam naturalmente à geração de novas propostas de solução. No caso em exame, foram geradas cinco novas propostas de solução, conforme a Figura 19.

TRIM	#ALTERAR SISTEMA DE SELAGEM, DOS COMPRESSORES DE NH3 PARA ISENTOS DE ÓLEO
TRIM	#USAR MEIA CANA/CAMISA E CHICANAS EXTERNAS REFRIGERADAS
TRIM	#INSTALAR CICLONE SEPARADOR DE ÓLEO LOGO APÓS COMPRESSÃO DE NH3
TRIM	#REAGIR EM MASSA
TRIM	#USAR O BUTADIENO PARA REFRIGERAÇÃO

Figura 19 – Propostas de solução geradas com base na Simplificação & SAO

Fonte: Elaborada pelo autor

5.10.2 Setenta e Seis Soluções padrão

De acordo com o tipo de relação problemática destacada no SAO são oferecidas estratégias típicas de tratamento do problema. No caso em exame foi utilizado o *Oxford Standard Solutions* (Gadd, 2011), versão adaptada do tradicional *Seventy Six Standard Solutions*.

Tratando as duas categorias de relações prejudiciais identificadas (ameaça e insuficiência), a ferramenta nos orienta conforme a seguir:

a) Ameaça

São quatro estratégias básicas para tratar as ameaças.

- a.1-Eliminação = eliminar a ameaça propriamente dita (já testada na seção Simplificação)
- a.2-Bloqueio – bloquear a ameaça
- a.3-Transformação da ameaça – transformar a ameaça em fator positivo
- a.4-Correção – corrigir a ameaça

b) Insuficiência

São duas estratégias básicas para melhorar, modificar ou potencializar as funções através da alteração em:

- b.1-Nos componentes (sujeito / objeto ou ambiente ao redor)
 - b.1.1- Adicionar algo ao sujeito e/ou ao objeto ou ambiente ao redor
 - b.1.2- Alterar sujeito ou objeto
- b.2-Alterar a ação ou energia que atua entre os componentes

Esta ferramenta retornou seis propostas de solução conforme a Figura 20.

STD	#INSTALAR SOMENTE IMPELIDORES DE ALTO FLUXO NOS REATORES POSTERIORES
STD	#USAR REFRIGERANTE ADICIONAL COM SALTO ENTÁLPICO MAIOR
STD	#ADICIONAR MEIA CANA INTERNA ESPECIAL DOS REATORES DE PVC-VINNOLIT COMBINADA COM FEIXE TUBULAR MAIS SIMPLES
STD	#USAR MEIA CANA INTERNA ESPECIAL DOS REATOPRES DE PVC- VINNOLIT COMBINADA COM FEIXE TUBULAR MAIS SIMPLES
STD	#INSTALAR AO MENOS 1 IMPELIDOR DE ALTO FLUXO COM OS DE ALTO CISALHAMENTO NOS REATORES INICIAIS
STD	#USAR N2 PARA REFRIGERAÇÃO

Figura 20 – Propostas de solução geradas a partir das Setenta e Seis Soluções Padrão

Fonte: Elaborada pelo autor

5.11 Outras Ferramentas

5.11.1 Gatilhos inventivos

A metodologia disponibiliza algumas ferramentas adicionais que não dependem a Análise Funcional e são classificadas como gatilhos inventivos (Gadd, 2011), tais como o Fator X, Analogia Vida ou Morte, *Smart Little People*, Radicalização Tempo-Tamanho–Custo. Sempre buscando exaurir as possibilidades de solução, elas foram rapidamente testadas para o caso em avaliação. A mais efetiva foi a Radicalização Tempo-Tamanho–Custo, na qual os aspectos problemáticos mais

críticos são metodicamente exagerados para zero e para o infinito em cada um dos três eixos. Os extremos sugerem algumas soluções para o problema em análise.

Com o Fator X imagina-se que um agente ainda indefinido será capaz de eliminar as contradições aproximando o sistema da situação ideal. A partir daí, tenta-se definir quais funções este agente deveria desempenhar de forma a caracterizá-lo. Procura-se, então, um agente real que se aproxime do perfil.

A analogia de vida ou morte usa como referência situações em que a falha é catastrófica tentando usar as soluções nelas aplicadas para o caso em análise.

Com **pequenos seres inteligentes** (*Smart Little People*) imagina-se que pequenos seres podem desenvolver as funções necessárias à solução do problema quando atuando isoladamente ou combinados em grupos.

Radicalização Tempo-Tamanho-Custo exagera a situação apresentada nos três eixos. Como a análise funcional já foi realizada, tomou-se aquelas situações mais críticas, ou seja, envolvidas em relações insuficientes e/ou ameaças para aplicação do gatilho. Como exemplo, ver a Figura 21.

		MÍNIMO	INFINITO	PROPOSTAS
TAMANHO	IMPELIDOR MISTURA	NANO IMPELIDORES	IMPELIDOR É O PRÓPRIO REATOR	REATOR GIRATÓRIO IMPELIDOR NA TUBULAÇÃO
				USAR MISTURA EM NÍVEL MOLECULAR QUE SE ESGOTE APÓS A NECESSIDADE
TEMPO		MISTURA INSTANTÂNEA	REAGENTES NÃO SE MISTURAM	REAÇÃO EM MASSA
CUSTO		AGITADOR NÃO TEM CUSTO	AGITADOR É MAIS CARO QUE REATOR	MISTURADOR ESTÁTICO

Figura 21 – Exemplo da ferramenta Radicalização Tempo-Tamanho-Custo

Fonte: Elaborada pelo autor com base em Gadd (2011)

Eliminadas as redundâncias, o uso dos gatilhos resultou em três propostas de solução, conforme a Figura 22.

TRIG	#MATERIAL DO FEIXE TUBULAR NÃO PERMITE ADERÊNCIA DO COÁGULO DO POLÍMERO
TRIG	#ADICIONAR ESTABILIZADOR PARA EVITAR COÁGULOS QUE SEJA REMOVIDO AO FINAL DA REAÇÃO
TRIG	#ADICIONAR ESTABILIZADOR QUE SÓ DURE O TEMPO DE PASSAGEM PELA CADEIA DE REAÇÃO (AUTO CONSUMIDO)

Figura 22 – Propostas de solução geradas a partir dos Gatilhos Inventivos

Fonte: Elaborada pelo autor

Além dos gatilhos há ainda a consulta aos bancos de dados de efeitos técnicos e ao banco de dados de patentes de livre acesso. O primeiro foi consultado tentando identificar meios alternativos para misturar líquidos e para resfriá-los. As propostas de solução que surgiram foram todas repetidas em relação àquelas listadas anteriormente, mostrando claramente o esgotamento das

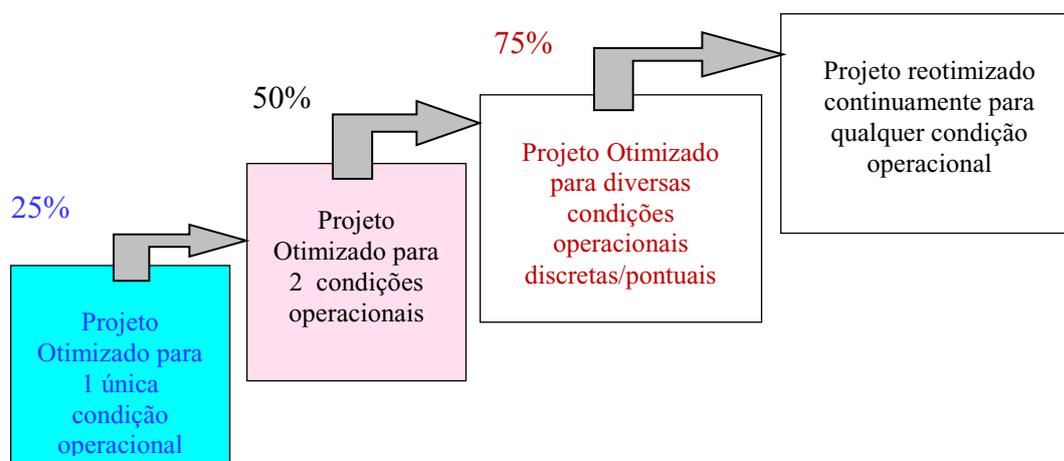
ferramentas e do usuário. Já a consulta ao banco de patentes retornou duas patentes de reatores de polimerização cuja concepção de resfriamento e proteção contra incrustação interna reforçaram algumas das abordagens sugeridas anteriormente através de outras ferramentas. As patentes de maior destaque foram o reator de PVC Vinnolit (US 20080281057 A1) com sua meia-cana interna de projeto especial e o processo Goodyear para admissão progressiva dos reagentes para polimerização de borracha sintética de melhor qualidade (US645888).

5.11.2 Tendências/ padrões de Evolução (*trends of evolution*)

Esta ferramenta tem grande aplicação não só na solução de problemas como também no desenvolvimento de novos produtos e prospecção de futuro para produtos e sistemas existentes. Tem larga utilização na área de propriedade intelectual no registro de novas patentes e sua proteção. A ferramenta está baseada no conceito TRIZ de que todo produto ou sistema segue a sua curva S no sentido de aumentar a sua idealidade até a sua maturidade quando normalmente é substituído por outro produto ou sistema mais eficaz. As tendências são identificadas em oito grandes direções: aumento da idealidade, curva S, evolução não uniforme das partes, integrando e separando partes, menor envolvimento humano, complexidade crescente seguida por simplificação, crescente dinamismo e controlabilidade (Gadd, 2011). Cada uma das tendências se subdivide em várias linhas de evolução. Após o esgotamento das demais ferramentas (número significativo de propostas similares), as tendências foram usadas para procurar novas soluções coerentes com os conceitos nelas expressos.

Para uso neste trabalho, foi rapidamente testada a versão tradicional das oito tendências de evolução (Gadd, 2011) e posteriormente a versão desenvolvida por Mann (2010b), que divide as várias linhas de evolução em três grandes grupos: ESPAÇO, TEMPO e INTERFACE. Esta abordagem propõe percorrer cada uma das linhas de evolução e testá-las para a situação em análise. Para as linhas aplicáveis é realizado um diagnóstico da situação atual. Posteriormente, com base nas propostas geradas, é identificada a evolução potencial nas diversas linhas de evolução em direção à idealidade. O resumo é lançado em gráficos tipo radar.

Operacionalmente cada uma das linhas é testada para o caso em avaliação, tentando-se localizar o estágio atual no diagrama de cada linha de evolução. Como exemplo ilustrativo, tomemos a linha *Design Point* (Ponto de Projeto), curva típica conforme Figura 23.



Situação atual = 25%; situação futura após propostas = 75%

Figura 23 - Linha de tendência típica para o “Design Point”

Fonte: Adaptada de Mann (2010a)

A relação das linhas consideradas aplicáveis ao caso está na Figura 24.

GRUPO	LINHAS DE TENDÊNCIAS	ATUAL	FUTURO POTENCIAL
SPACE	SMART MATERIALS (PASSIVE TO ADAPTATIVE)	25%	25%
SPACE	SPACE SEGMENTATION (MONOLITHIC TO POROUS W/ACTIVE ELEMENTS)	20%	60%
SPACE	SURFACE SEGMENTATION (smooth to roughened w/ active elements)	25%	50%
SPACE	MACRO TO NANO SCALE -SPACE	8%	60%
SPACE	DECREASING DENSITY (metal to gas to ...)	8%	16%
SPACE	DYNAMIZATION (immobile to pneumatic to field bases syst)	20%	40%
INTERFACE	MONO-BI-POLY (SIM)-INTERFACE (mono syst to poly syst= similar)	100%	100%
INTERFACE	MONO-BI-POLY (VAR)-INTERFACE (Mono syst to poly syst = various)	25%	50%
INTERFACE	MONO-BI-POLY (INCREASING DIFF.)-INTERFACE (Similar components to diff. components)	25%	75%
INTERFACE	DESIGN POINT (optmized to a single operation point to optimized contonuously)	25%	75%
INTERFACE	DEGREES OF FREEDOM (1 to 6 DOF)	17%	68%
INTERFACE	TRIMMING (complex to elimination of non-key elements to trimmed system)	25%	50%
INTERFACE	CONTROLABILITY	50%	75%
INTERFACE	HUMAN INVOLVEMENT (human to automatic)	68%	85%
INTERFACE	DESIGN METHOD. (Cut & try to Design for Murphy)	34%	67%
TIME	ACTION CO-ORDINATION	25%	50%
TIME	RHYTHM CO-ORDINATION	25%	50%
TIME	NON-LINEARITY	33%	66%

Figura 24 - Linhas de tendência consideradas aplicáveis ao caso

Fonte: Elaborada pelo autor com base em Mann (2010a)

Como podemos ver na Figura 25, mesmo com a exaustão identificada com as ferramentas anteriores, a aplicação das tendências de evolução em suas duas abordagens conseguiu adicionar mais 18 propostas de solução.

TRENDS-M	#ADIÇÃO COMPLEMENTAR DOS REAGENTES AO LONGO DA CADEIA EM FUNÇÃO DA CONVERSAO ATINGIDA
TRENDS-M	AJUSTAR TIPO E ESPECIFICAÇÃO DOS AGITADORES E REFRIGERAÇÃO PARA CADA SEÇÃO DE 3 REATORES APÓS A INJEÇÃO PROGRESSIVA DOS REAGENTES
TRENDS-M	#ROTAÇÃO DO AGITADOR AUMENTA EM FUNÇÃO DA MAIOR VISCOSIDADE DO LÁTEX
TRENDS	#USAR IMPELIDORES APROPRIADOS PARA CADA FUNÇÃO NA CADEIA DE REAÇÃO COM ROTAÇÃO AJUSTÁVEL EM FUNÇÃO DA VAZÃO NOS REATORES CHAVE (INICIAÇÃO) E DA TEMP. NOS REATORES SUBSEQUENTES (PROPAGAÇÃO)
TRENDS	#AUMENTAR CAP DE RESFRIAMENTO NOS REATORES DE PROPAGAÇÃO/ ÁGUA GELADA EM CAMISA EXTERNA
TRENDS	#ESPECIFICAR SEÇÕES DE CADEIA DE REAÇÃO CONF. ESPECIALIZAÇÃO (INICIAR REAÇÃO/ PROPAGAR ... / ENCERRAR ...)
TRENDS-M	#ADAPTAR CADEIA DE REATORES PARA OPERAR COMO MULTI PROPÓSITO (AGITAÇÃO VARIÁVEL, PONTO DE ADIÇÃO DE MONÔMEROS E MODIFICADOR COM 3 OPÇÕES AO LONGO DA CADEIA)
TRENDS	#USAR CABEÇOTE ROTATIVO P/ LIMPEZA AUTOMÁTICA DOS FEIXES TUBULARES A CADA N HORAS DE USO DOS REATORES
TRENDS-M	#USAR MODIFICADOR EM NANO PARTÍCULAS PARA AJUSTE FINO DA PROPRIEDADES FINAIS DO POLÍMERO AO LONGO DA CADEIA
TRENDS	#USAR PARTÍCULAS ENCAPSULADAS DE REAGENTES LIBERADOS PROGRESSIVAMENTE
TRENDS-M	#USAR EIXO E IMPELIDORES OCOS PARA REDUZIR PESO E PERMITIR PASSAGEM DE LIQUIDO RESFRIADOR
TRENDS-M	#IMPELIDORES COM EXTENSORES DE PÁS PARA AJUSTE DE LARGURA OU DIÂMETRO
TRENDS-M	#USAR PAREDES DOS REATORES OCAS Para REDUZIR PESO, AUMENTAR ISOLAMENTO TÉRMICO OU PASSAR LIQUIDO RESFRIADOR
TRENDS	#USAR REATORES MAIORES E EM MENOR No.
TRENDS-M	#USAR ALETAS NAS PAREDES INTERNAS DO REATOR COM CAMISA EXTERNA PARA MAIOR TROCA TÉRMICA
TRENDS-M	#USAR EIXO/IMPELIDORES EM ALUMÍNIO PARA REDUÇÃO DE POTÊNCIA NECESSÁRIA
TRENDS	#AGITAÇÃO POR NANO IMPELIDORES ADICIONADOS CONF. CURVA DE REAÇÃO
TRENDS	#AUMENTAR CONVERSÃO

Figura 25- Propostas de solução geradas a partir das Tendências / Linhas de Evolução

Fonte: Elaborada pelo autor

A consolidação da avaliação (atual x potencial) pode ser resumida no gráfico tipo radar (Figura 26) com a posição atual (AZUL) e a potencial (VERMELHA). O gráfico mostra claramente as linhas de evolução menos desenvolvidas para o sistema conforme se encontra atualmente (Mann, 2010a). Adicionalmente, a curva vermelha ilustra as linhas com maior potencial de evolução com base nas soluções propostas. Assim, independentemente de procurar soluções para o problema apresentado, esta ferramenta alavanca a evolução do sistema e seus componentes em direção à idealidade.

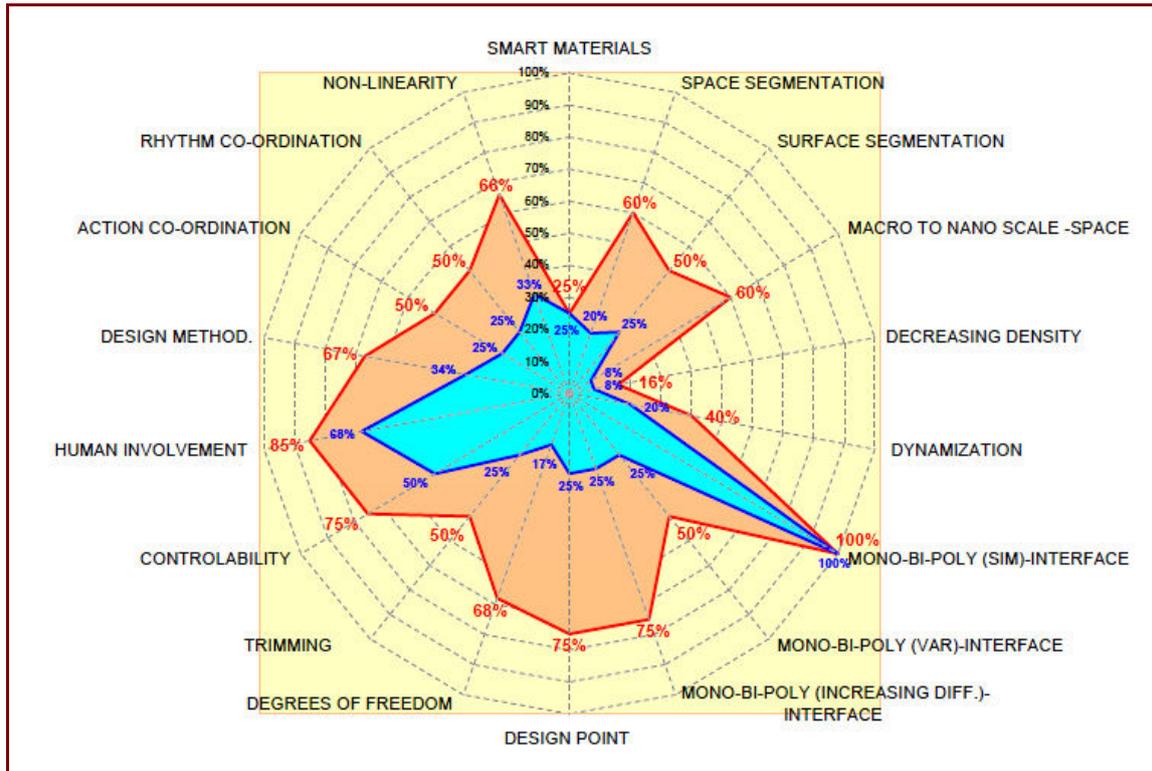


Figura 26 - Gráfico Radar – evolução em direção à idealidade: Situação atual (azul) contra potencial (vermelho)

Fonte: Elaborada pelo autor com base em Mann (2010a)

6 AVALIAÇÃO FINAL DAS PROPOSTAS

Até este ponto, as propostas foram geradas sem avaliação formal. Nesta etapa, é necessário avaliá-las e priorizar as de maior impacto para desenvolvimento/aplicação posterior. A avaliação foi realizada através de uma matriz de múltiplos critérios na qual temos dois estágios: O 1º estágio avalia contra a idealidade com base nos critérios sugeridos por Rantanen e Domb (2008); o 2º estágio avalia contra a facilidade de implementação. Finalmente, consolidam-se ambos os estágios e tem-se a priorização final em função da aderência aos critérios.

Critérios de avaliação contra a idealidade e pesos considerados:

- As ameaças foram eliminadas? (Peso= 5);
- As características úteis forma mantidas e novos benefícios adicionados? (Peso= 2);
- Novas ameaças foram identificadas? (Peso= 2);
- O sistema tornou-se mais complexo? (Peso= 1);
- A principal contradição física foi eliminada? (Peso= 7);
- Foram utilizados recursos livres ou ignorados? (Peso= 1).

Com a estrutura em dois estágios pode-se examinar a lista de proposta inicialmente somente contra a idealidade. Algumas propostas poderão ser altamente impactantes em relação à idealidade e, entretanto, não haver condições momentâneas de implementação. Seriam arquivadas para reexame futuro. Ao acrescentar o critério de facilidade de implementação (Peso= 2), direcionamos a avaliação para o campo prático, focando na realização imediata. A aderência combinada foi a utilizada para a priorização final.

Como um processo exaustivo, muitas propostas redundantes surgiram a partir de diferentes ferramentas. Eliminando as redundâncias, a inovação sistemática gerou 60 propostas adicionais àquelas 11 preliminares espontâneas. Do total de 71 propostas, 44 atingiram aderência igual ou acima de 50% contra os critérios combinados de idealidade e facilidade de implementação. As propostas mostram características preventivas e corretivas que poderiam ser utilizadas como critério para seleção, se desejado. As propostas com aderência abaixo de 50% devem ser mantidas para reexame futuro pois podem conter boas contribuições potenciais, mas talvez ainda carreguem contradições internas a resolver.

Um resumo contendo as 31 propostas com aderência maior ou igual a 60% pode ser visto nas Figuras 27 e 27A seguintes. Notar que as ferramentas dominantes no quartil superior em qualidade ($\geq 75\%$) são as Tendências e Linhas de Evolução em conjunto com a eliminação das Contradições.

FONTES	AVALIAÇÃO DE ADERÊNCIA À IDEALIDADE	pesos	AMEAÇAS DESAPARECEM?	CARACT. LITEIS MANTIDAS?	NOVOS BENEFÍCIOS APARECEM?	NOVAS AMEAÇAS APARECEM?	SISTEMA TORNA-SE MAIS COMPLEXO?	CONTRADIÇÃO FÍSICA PRINCIPAL SOLUCIONADA?	RECURSOS LIVRES OU IGNORADOS UTILIZADOS?	1o. Filtro IDEALIDADE	FACILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO?	2o. Filtro FINAL
			5	2	2	1	7	1	150	2	100	
		Ideal	10	10	0	0	10	10				170
TECH	#RESULTADO DA TEMPERATURA NA SAÍDA DE CADA REATOR POSTERIOR AJUSTA ROTAÇÃO DO SEU AGITADOR		10	10	0	1	10	8	98%	8	96%	
TRENDS-M	#ADIÇÃO COMPLEMENTAR DOS REAGENTES AO LONGO DA CADEIA EM FUNÇÃO DA CONVERSÃO ATINGIDA		9	10	0	2	9	9	90%	7	88%	
TRENDS-M	#AJUSTAR TIPO E ESPECIFICAÇÃO DOS AGITADORES E REFRIGERAÇÃO PARA CADA SEÇÃO DE 3 REATORES APÓS A INJEÇÃO PROGRESSIVA DOS REAGENTES		9	10	1	3	9	6	86%	7	84%	
TRENDS-M	#ROTAÇÃO DO AGITADOR AUMENTA EM FUNÇÃO DA MAIOR VISCOSIDADE DO LÁTEX		9	10	0	2	8	7	84%	8	84%	
PHY	#COMBINAR IMPELIDORES DIFERENTES NO MESMO REATOR DE ACORDO COM NECESSIDADE DO PROCESSO		9	9	0	0	8	5	83%	9	84%	
TRENDS	#USAR IMPELIDORES APROPRIADOS PARA CADA FUNÇÃO NA CADEIA DE REAÇÃO COM ROTAÇÃO AJUSTÁVEL EM FUNÇÃO DA VAZÃO NOS REATORES CHAVE (INICIAÇÃO) E DA TEMP. NOS REATORES SUBSEQUENTES (PROPAGAÇÃO)		9	10	0	1	8	7	85%	6	82%	
PHY	#ADEQUAR REATORES SUBSEQUENTES (PROPAGAÇÃO) PARA MÁX. CAPACIDADE DE BOMBAMENTO/FLUXO E RESFRIAMENTO		9	10	0	0	8	4	83%	7	82%	
TRENDS	#AUMENTAR CAP DE RESFRIAMENTO NOS REATORES DE PROPAGAÇÃO/ ÁGUA GELADA EM CAMISA EXTERNA		7	10	0	2	9	7	82%	8	82%	
TECH	#RESULTADO PERIÓDICO DA VISCOSIDADE MOONEY COMANDA AJUSTE DA VAZÃO NA CADEIA		9	10	0	2	7	5	78%	8	78%	
TECH	#DRENAR PERIODICAMENTE O ÓLEO DOS FEIXES TUBULARES DE AMÔNIA		8	10	0	0	7	5	76%	9	78%	
TRENDS	#ESPECIFICAR SEÇÕES DE CADEIA DE REAÇÃO CONF. ESPECIALIZAÇÃO (INICIAR REAÇÃO/ PROPAGAR ... / ENCERRAR...)		7	8	0	1	8	8	76%	7	75%	
PRE	#TRATAR SUPERFÍCIE DOS FEIXES TUBULARES COM PRODUTO ANTI ENCRUSTANTE		8	10	0	0	7	4	75%	7	75%	

Figura 27- Resumo de propostas avaliadas – quartil superior (>=75% de aderência)

Fonte: Elaborada pelo autor com base em Rantanen e Domb (2008)

Nota: As fontes estão identificadas como TRI (gatilhos inventivos), STD (soluções padrão), TECH (contradições técnicas), PHY (contradições físicas), TRENDS (tendências de evolução), TRENDS-M (linhas de evolução - abordagem Mann); TRIM (simplificação/trimming), PRE (soluções preliminares).

FONTES	AVALIAÇÃO DE ADERÊNCIA À IDEALIDADE	AMEAÇAS DESAPARECEM?	CARACT. ÚTEIS MANTIDAS? NOVOS BENEFÍCIOS APARECEM?	NOVAS AMEAÇAS APARECEM?	SISTEMA TORNA-SE MAIS COMPLEXO?	CONTRADIÇÃO FÍSICA PRINCIPAL SOLUCIONADA?	RECURSOS LIVRES OU IGNORADOS UTILIZADOS?	1o. Filtro IDEALIDADE	FACILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO?	2o. Filtro FINAL
		pesos	pesos	pesos	pesos	pesos	pesos	15%	10%	10%
	Ideal	10	10	0	0	10	10	15%	10	10%
TRIG	#MATERIAL DO FEIXE TUBULAR NÃO PERMITE ADERÊNCIA DO COÁGULO DO POLÍMERO	9	10	0	0	7	4	79%	3	73%
PHY	#RETIRAR EFEITO CISALHANTE NA AGITAÇÃO DOS REATORES SUBSEQUENTES DA CADEIA (PROPOGAÇÃO)	8	8	0	0	7	3	72%	8	73%
STD	#INSTALAR SOMENTE IMPELIDORES DE ALTO FLUXO NOS REATORES POSTERIORES	7	9	0	0	7	5	71%	8	72%
TECH	#USAR FEIXES TUBULARES COM MATERIAL DE MAIOR CONDUÇÃO TÉRMICA QUE POSSAM SER MAIS DELGADOS E COM MESMA RESISTÊNCIA MECÂNICA	8	10	0	1	7	0	72%	7	72%
STD	#USAR REFRIGERANTE ADICIONAL COM SALTO ENTÁLPICO MAIOR	9	9	1	5	9	0	79%	1	71%
TECH	#ELETOPOLIR SUPERFÍCIE DOS FEIXES TUBULARES DE AMÔNIA (MAIOR CAP. DE RESFRIAMENTO POR MAIS TEMPO)	8	9	0	0	6	5	70%	8	71%
TECH	#APLICAR ULTRASOM NOS FEIXES TUBULARES DE FORMA CÍCLICA PARA MANTÊ-LOS LIMPOS	8	9	1	2	8	0	73%	5	71%
TRENDS-M	#ADAPTAR CADEIA DE REATORES PARA OPERAR COMO MULTI PROPÓSITO (AGITAÇÃO VARIÁVEL, PONTO DE ADIÇÃO DE MONÔMEROS E MODIFICADOR COM 3 OPÇÕES AO LONGO DA CADEIA)	7	8	0	3	7	7	69%	6	68%
TECH	#UTILIZAR REVESTIMENTO EXTERNO NOS FEIXES TUBULARES DE FORMA A REPELIR AS PARTÍCULAS DO POLÍMERO	8	9	3	0	7	3	69%	5	67%
TRIM	#ALTERAR SISTEMA DE SELAGEM DOS COMPRESSORES DE NH3 PARA ISENTOS DE ÓLEO	7	8	0	3	8	1	70%	4	66%
STD	#ADICIONAR MEIA CANA INTERNA ESPECIAL DOS REATORES DE PVC-VINNOLIT COMBINADA COM FEIXE TUBULAR MAIS SIMPLES	8	9	0	0	7	3	73%	1	66%
TRIM	#USAR MEIA CANA/CAMISA E CHICANAS EXTERNAS REFRIGERADAS	8	9	0	0	5	5	65%	5	64%
TRIM	#INSTALAR CICLONE SEPARADOR DE ÓLEO LOGO APÓS COMPRESSÃO DE NH3	5	8	0	1	7	3	61%	8	64%
TECH	#DETERMINAÇÃO PERIÓDICA OU CONTÍNUA DA VISCOSIDADE AO LONGO DA CADEIA E FINAL	8	8	0	0	4	5	59%	8	62%
PHY	#INSTALAR CAMISA INTERNA COM NH3 NOS REATORES SUBSEQUENTES (PROPAGAÇÃO)	6	7	1	1	8	5	68%	1	61%
STD	#USAR MEIA CANA INTERNA ESPECIAL DOS REATORES DE PVC- VINNOLIT COMBINADA COM FEIXE TUBULAR MAIS SIMPLES	7	8	1	1	7	3	67%	2	61%
PHY	#ADAPTAR CADEIA ÚNICA PARA 2 CADEIAS INICIAIS DE REAÇÃO (3R CADA) DESCARREGANDO PARA 1 ÚNICA CADEIA POSTERIOR DE MAIOR CAPACIDADE DE RESFRIAMENTO	5	8	1	5	7	9	61%	6	61%
TECH	#USAR AMÔNIA EM TEMPERATURA MAIS BAIXA NOS REATORES CRÍTICOS	5	8	0	0	6	9	61%	5	60%
TECH	#AJUSTAR CISALHAMENTO VARIANDO A ROTAÇÃO DOS IMPELIDORES NOS REATORES INICIAIS (INICIAÇÃO) CONF. AVANÇO DA REAÇÃO	5	8	1	3	7	5	60%	6	60%

Figura 27A - Resumo de propostas avaliadas – complemento (aderência entre 75% e 60%)

Fonte: Elaborada pelo autor com base em Rantanen e Domb (2008)

6.1 Como Ficaria o Sistema com Parte das Principais Propostas Implementadas?

Resumidamente, as intervenções principais foram de três tipos:

- **Inclusão:** Uma etapa preliminar (pré-mistura); uma camisa externa de resfriamento utilizando uma solução de resfriamento próprio para este fim; adicionado um impelidor com perfil de fluxo otimizado aos eixos dos primeiros reatores; novo conjunto de impelidores de perfil de fluxo otimizado nos reatores subsequentes; inclusão de sistema

emissor de ultrassom para limpeza interna durante a reação (não representado no desenho); alimentação simultânea por um segundo reator.

- **Flexibilização:** Alimentação incremental ajustável nos reatores seguintes para aumentar gama de formulações possíveis ou atender necessidade de ajuste durante a reação.
- **Ajustes automáticos contínuos:** Ajuste da rotação dos primeiros reatores em função da viscosidade atingida no meio reacional; ajuste automático de rotação nos reatores subsequentes em função da temperatura atingida na saída.
- O aumento do diâmetro das tubulações de interligação entre os reatores não se enquadra na classificação anterior, entretanto está lançada no diagrama.

A Figura 28 ilustra de forma simplificada o aspecto geral da instalação incorporando algumas das propostas mais impactantes.

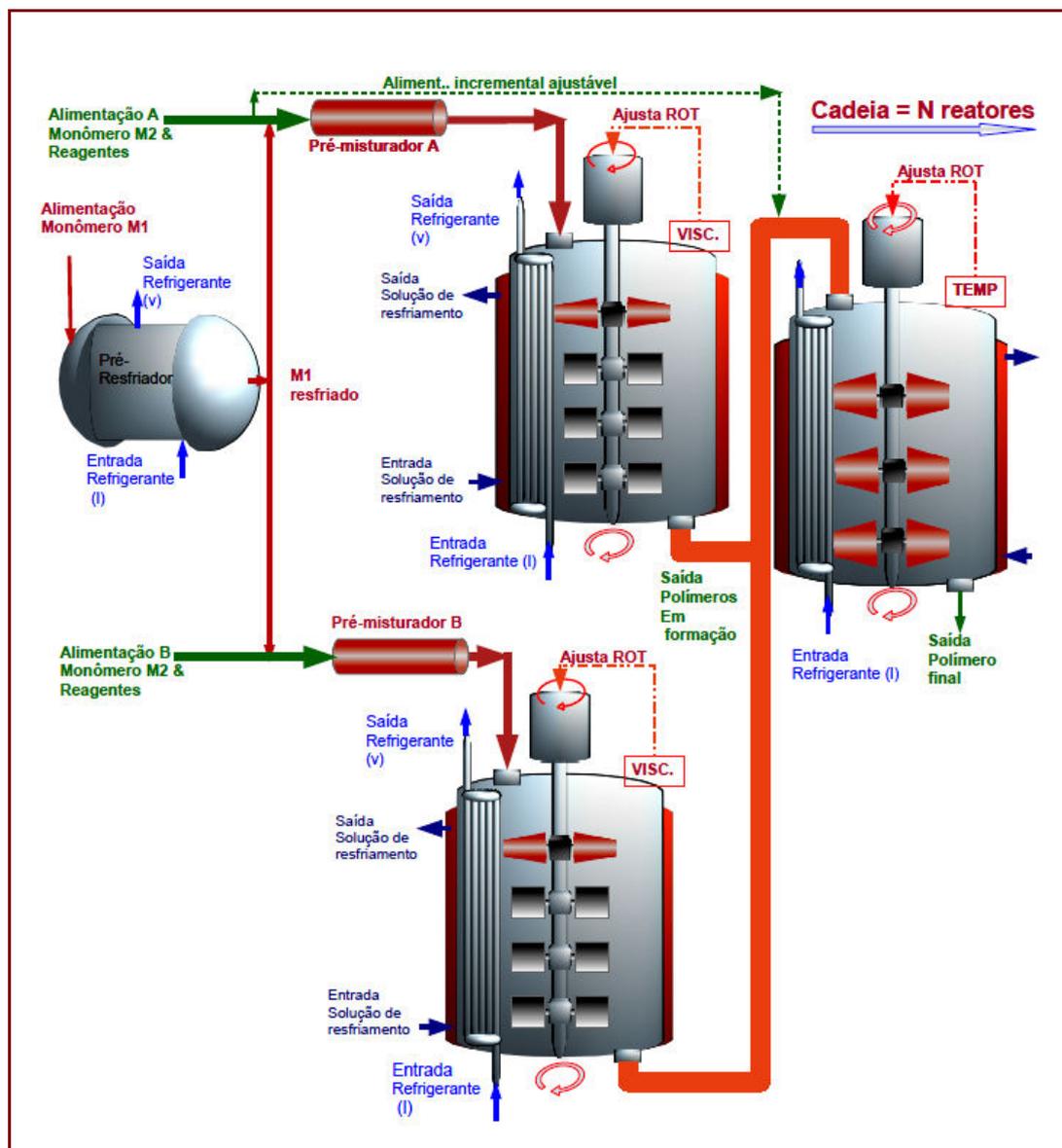


Figura 28 – Sistema incorporando algumas das propostas

Fonte: Elaborada pelo autor

Tais modificações são significativas para eliminar as contradições básicas e tornar o sistema mais flexível/adaptável e inteligente, deslocando-o para um ponto mais avançado na sua curva de evolução.

6.2 Avaliação do Impacto das Ferramentas

Esta avaliação não é necessária para a geração de soluções, entretanto é extremamente rica ao identificar quais ferramentas estão apresentando os melhores resultados para os usuários.

Avaliando apenas quantitativamente, pelo número ideias não redundantes geradas por cada ferramenta, temos a seguinte distribuição.

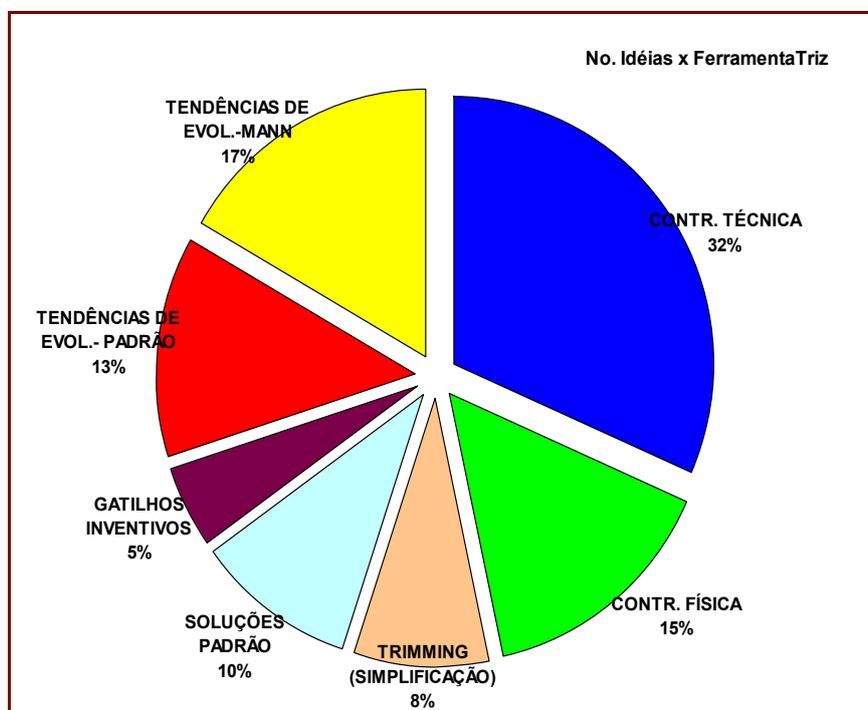


Figura 29 – Impacto quantitativo por ferramenta – base número de ideias

Fonte: Elaborada pelo autor

Há predominância das propostas geradas pela eliminação exaustiva das contradições (47%), seguida pelas tendências e linhas de evolução (30%), mesmo quando se considerava o horizonte já esgotado.

Para avaliação qualitativa do impacto das ferramentas, foi utilizado o critério de número de soluções com aderência maior ou igual a 50% contra idealidade e facilidade de implementação.

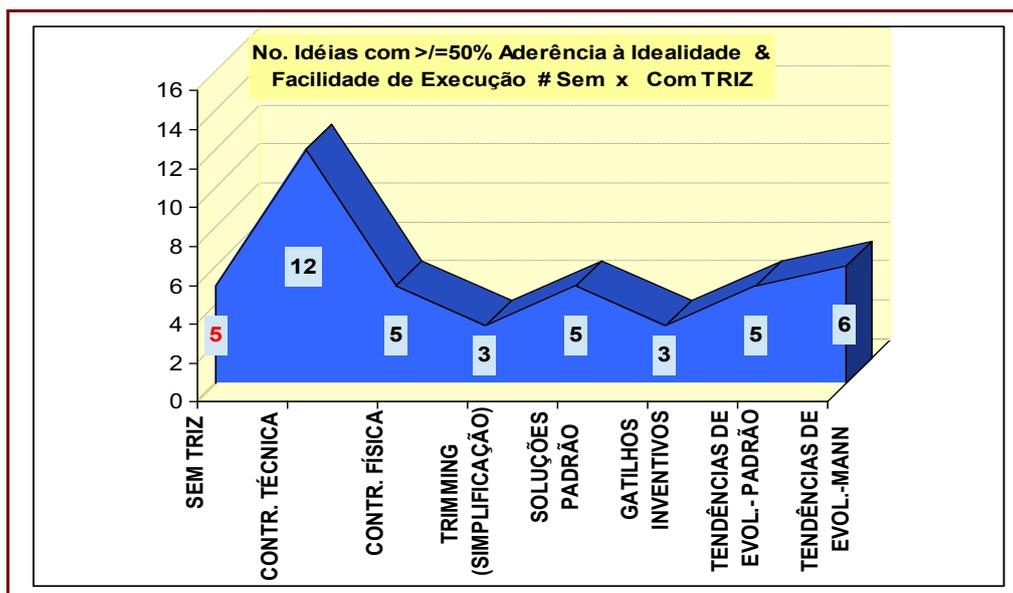


Fig. 30 – Impacto qualitativo por ferramenta – base propostas com aderência $\geq 50\%$
 Fonte: Elaborada pelo autor

Pode-se notar que após o corte em 50%, cinco das propostas espontâneas (sem TRIZ) passaram contra 39 utilizando a TRIZ. No universo da utilização da TRIZ, as ferramentas relativas à eliminação das contradições tiveram a maior contribuição (17 propostas), seguidas pelas tendências e linhas de evolução (11 propostas).

7 COMENTÁRIOS GERAIS

- **Quanto à equipe participante:** Claramente, a metodologia é concebida para a interação de vários participantes de áreas diferentes com conhecimento do assunto. No caso examinado, houve apenas um participante e, mesmo sendo obtida uma relação de seis para uma nas propostas TRIZ para as espontâneas, houve limitação na abrangência das propostas.
- **Quanto à abrangência das propostas:** Mesmo se tratando de um processo químico, propostas que envolvessem alteração da cinética química, ou a formulação dos reagentes, não foram contempladas principalmente para evitar o uso de informação confidencial ou restrita por propriedade intelectual.

- **Quanto à quantidade de propostas em relação às ferramentas:** A listagem de propostas apresentada ao longo do artigo eliminou as redundâncias identificadas. Toda vez que foi gerada uma proposta similar a outra já registrada, a segunda foi eliminada. Este critério de eliminação considerando a sequência de uso das ferramentas privilegia aquelas utilizadas no início do fluxo de trabalho (contradições) e a listagem preliminar (espontânea). A possibilidade de chegar às mesmas propostas através de ferramentas diversas é amplamente mencionada na literatura TRIZ pois várias delas se sobrepõem. Variantes da TRIZ original tentam eliminar ou reduzir tal sobreposição, mas estão fora do escopo deste trabalho.
- **Quanto à operacionalização do fluxo:** O fluxo de trabalho foi percorrido em dois momentos. Primeiramente, utilizando a Matriz de Contradições tradicional e passando pelas demais ferramentas de forma rápida. Em uma segunda passagem, voltou-se às contradições acrescentando a abordagem amplificada da matriz conforme Mann (2010b) e aprofundou-se a análise das tendências de evolução. Ainda com base no mesmo autor, cada tendência foi desdobrada nas suas respectivas linhas de evolução, gerando os gráficos radar atual e potencial. A consulta aos bancos de dados de efeitos e patentes também foi consolidada na segunda passagem.

8 CONCLUSÕES

O fluxo de trabalho da inovação sistemática baseada na TRIZ efetivamente multiplica as opções geradas para atacar problemas mais complexos conforme já amplamente documentado na literatura TRIZ. No caso examinado, mesmo com as restrições mencionadas nos comentários gerais, a relação de cerca de seis propostas estimuladas pela TRIZ para cada uma espontânea efetivamente abriu possibilidades imediatas e futuras não identificadas inicialmente.

A análise estruturada proposta pela inovação sistemática eficaz para usuários iniciantes, pois permite que o usuário vá aprofundando tal análise a cada ferramenta utilizada. O fluxo sugerido permite que o usuário administre a profundidade do exame conforme sua conveniência e tempo disponível. O fluxo de trabalho também permite que o processo seja interrompido e retomado posteriormente a partir dos registros iniciais, sem perda de foco. Todo o processo é documentado e facilmente rastreável.

O fluxo de trabalho, mesmo não sendo rígido e sim orientativo, funciona como um guia mestre para usuários iniciantes que podem a partir dele se localizar com maior facilidade e repeti-lo, se julgarem necessário.

O uso das diversas linhas de evolução conforme Mann (2010a) se mostrou mais efetivo do que utilizar somente as grandes tendências. Esta ferramenta se mostrou crítica quando se acreditava que o processo de busca de novas alternativas inventivas tinha se esgotado. A utilização do gráfico tipo radar (atual x potencial) também se mostrou decisivo para a visualização do exato impacto das propostas.

No quartil superior ($\geq 75\%$ de aderência à idealidade e facilidade de implementação), apenas uma entre as 11 propostas foi gerada na listagem preliminar espontânea, evidenciando o incremento de qualidade das soluções geradas proporcionado pela aplicação da inovação sistemática.

O fluxo de trabalho estruturado mostrou-se adequado à aplicação em ocasiões múltiplas, ou seja, permitiu que o processo fosse iniciado, interrompido e retomado posteriormente sem problemas, aspecto fundamental para lidar com as rotinas existentes nas organizações em geral.

De forma geral, para casos mais abrangentes como o analisado, a solução compreende várias propostas a serem implementadas simultaneamente. Não se deve esperar que uma única proposta resolva toda a situação, principalmente porque o sistema é composto por vários subsistemas, cada um deles com a sua própria curva de evolução.

Todas as propostas precisarão passar por estágios subsequentes de detalhamento, típicos de um projeto. Algumas propostas podem, inclusive, conter alguma contradição a ser resolvida antes da implementação.

Conforme registrado na literatura TRIZ, se as soluções identificadas utilizando conhecimento local disponível forem satisfatórias, não é conveniente o uso da TRIZ. Entretanto, se por qualquer razão a situação oferecer restrições difíceis de ultrapassar, a abordagem da inovação sistemática pode certamente contribuir para a geração de alternativas inventivas.

O caso examinado apresentou uma situação típica onde houve restrição de capital para aplicar a solução padrão que seria a ampliação do sistema visando ao aumento da produção. É interessante notar que, mesmo havendo capital disponível, a aplicação da inovação sistemática, conforme exposto, gerou muitas oportunidades de tornar o sistema ampliado futuro mais eficaz do que a simples reprodução dos módulos de reação existentes. Ou seja, a inovação sistemática pode alavancar o sistema em direção à idealidade em quaisquer circunstâncias e é altamente recomendável na fase de levantamento de alternativas, antes da decisão final pelo investimento.

REFERÊNCIAS

- Altshuller, G. S. (1999). *The innovation algorithm* (L. Shulyak & S. Rodman, Trans.). Worcester: Technical Innovation Center.
- Gadd, K. (2011). *TRIZ for engineers – enabling inventive problem solving*. Chichester: John Wiley and Sons.
- Mann, D. L. (2010a). *Hands-on systematic innovation for technical systems*. Bideford: Lazarus Press.
- Mann, D. L. (2010b). *Matrix 2010, re-updating the triz contradiction matrix*. Bideford: Lazarus Press.
- Rantanen, K., & Domb, E. (2008). *Simplified TRIZ: new problem solving applications for engineers and manufacturing professionals* (2nd ed.). Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- Silverstein, S., DeCarlo, N., & Slocum, M. (2008). *Insourcing innovation—how to achieve competitive excellence using triz*. Boca Raton: Taylor & Francis Group.

SYSTEMATIC INNOVATION APPLIED TO INDUSTRIAL POLYMERIZATION SYSTEMS

ABSTRACT

Consider an industrial system designed to perform exothermic polymerization reactions using a reactor chain along which the temperature must be maintained below ten degrees Celsius to ensure the proper final properties of the polymer produced. The system faces a second critical factor in the tendency of the polymer to adhere on all contact surfaces along the reactors chain, damaging the thermal energy exchange. How to increase the productivity of this system keeping all product specifications without intensive investment? The usual solutions, such as the inclusion of new reactors, would break one or more of the restrictions. This challenge sets up an opportunity for the typical application of the TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving) tools and concepts. This article will demonstrate such tools application in a structured way identified as **Systematic Innovation**, seeking to generate inventive solutions that meet all the conditions imposed.

KEYWORDS: Triz; systematic innovation; polymerization; productivity; contradiction.

Data do recebimento do artigo: 10/04/2014

Data do aceite de publicação: 29/01/2015