

Gestão do Conhecimento aplicada à análise comparativa entre resina virgem e resina PCR em cenários inicial e otimizado
Knowledge Management applied to the comparative analysis of virgin resin and PCR resin in initial and optimized scenarios

Marcelo Araujo

Pós-graduanda em Engenharia da Qualidade e Produtividade. UniSenai-SP – Brasil.
marcelo.araujosbc@gmail.com

Luís Soares Teixeira

Mestrado em Engenharia de Produção. UniSenai-SP – Brasil.
luis.teixeira@mwm.com.br

RESUMO

Este trabalho investiga os desafios industriais relacionados ao uso da resina pós-consumo reciclada (PCR) em embalagens para cosméticos, considerando sua variabilidade técnica e os impactos econômicos da não qualidade. O objetivo da pesquisa foi comparar o desempenho da resina virgem e da resina PCR em cenários inicial e otimizado, avaliando propriedades técnicas, parâmetros de injeção e custos associados. Trata-se de uma pesquisa aplicada, conduzida em ambiente industrial, que utilizou ensaios de caracterização física e mecânica, análise de parâmetros de processo e indicadores econômicos para mensurar os resultados. Os achados demonstram que, no cenário otimizado, o índice de fluidez da resina PCR (11,2 g/10 min) aproximou-se do valor da resina virgem (12,0 g/10 min), enquanto a taxa de rejeição foi reduzida de 6% para 3%, refletindo ganhos significativos em qualidade e produtividade. A Gestão da Qualidade e a Gestão do Conhecimento foram aplicadas por meio de metodologias como PDCA e sistematização de dados técnicos, permitindo identificar causas de variabilidade, ajustar parâmetros de processo e apoiar a tomada de decisão. Conclui-se que a integração entre práticas de qualidade e gestão do conhecimento contribui para a viabilidade da resina PCR como alternativa sustentável e competitiva, oferecendo evidências científicas de que a otimização de processos pode reduzir limitações técnicas e ampliar a adoção da economia circular na indústria de polímeros.

PALAVRAS-CHAVE: Embalagens sustentáveis, Cosméticos, Polímeros reciclados pós-consumo (PCR), Economia circular.

ABSTRACT

This study investigates the industrial challenges associated with using post-consumer recycled (PCR) resin in cosmetic packaging, considering its technical variability and the economic impacts of poor quality. The research aimed to compare the performance of virgin resin versus PCR resin across baseline and optimized scenarios by evaluating technical properties, injection parameters, and associated costs. This applied research was conducted in an industrial setting, utilizing physical and mechanical characterization tests, process parameter analysis, and

economic indicators to measure results. The findings demonstrate that, in the optimized scenario, the melt flow rate of the PCR resin (11.2 g/10 min) approached that of the virgin resin (12.0 g/10 min), while the rejection rate dropped from 6% to 3%, reflecting significant gains in quality and productivity. Quality Management and Knowledge Management were implemented using methodologies such as PDCA and the systematization of technical data, enabling the identification of sources of variability, the adjustment of process parameters, and support for decision-making. The study concludes that integrating quality practices with knowledge management contributes to the viability of PCR resin as a sustainable and competitive alternative, providing scientific evidence that process optimization can mitigate technical limitations and expand the adoption of the circular economy within the polymer industry.

KEYWORDS: Sustainable packaging, Cosmetics, Post-consumer recycled (PCR) polymers, Circular economy.

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por soluções sustentáveis na indústria de polímeros tem impulsionado o uso da resina pós-consumo reciclada (PCR) como alternativa à resina virgem. Apesar de seu potencial ambiental e econômico, a PCR apresenta desafios técnicos relacionados à variabilidade de propriedades físicas e mecânicas, além de custos elevados de não qualidade, como rejeição e retrabalho. Esses fatores dificultam sua adoção em escala industrial e evidenciam a necessidade de práticas de otimização que garantam sua viabilidade produtiva.

Nesse contexto, torna-se relevante investigar como a Gestão da Qualidade e a Gestão do Conhecimento podem apoiar a utilização da PCR, reduzindo limitações técnicas e econômicas e aproximando seu desempenho ao da resina virgem. A questão de pesquisa que orienta este estudo é: de que forma práticas de Gestão da Qualidade e Gestão do Conhecimento podem contribuir para a otimização do uso da resina PCR em processos industriais, tornando-a competitiva frente à resina virgem?

A fundamentação deste trabalho dialoga com políticas públicas brasileiras, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), e com iniciativas de economia circular que reforçam a necessidade de integrar desempenho industrial e sustentabilidade. Além disso, estudos recentes destacam tanto os desafios da PCR quanto metodologias de melhoria contínua aplicadas à indústria de polímeros, indicando uma lacuna científica na integração entre qualidade, conhecimento organizacional e sustentabilidade.

Dessa forma, este estudo busca contribuir para a compreensão de como práticas de Gestão da Qualidade, aliadas à Gestão do Conhecimento, podem apoiar a tomada de decisão e a melhoria contínua, oferecendo evidências científicas e gerenciais para ampliar a adoção da PCR em escala industrial.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A literatura sobre gestão do conhecimento e gestão da qualidade na indústria de polímeros apresenta contribuições relevantes, mas também limitações que justificam a realização deste estudo. Nonaka e Takeuchi (1997) destacam a importância da criação e compartilhamento de conhecimento organizacional, oferecendo uma base conceitual para a melhoria contínua. Entretanto, sua abordagem é ampla e não trata especificamente dos desafios técnicos da indústria de polímeros.

Machado (2024) demonstra que metodologias como PDCA e Procedimento Operacional Padrão (POP) podem otimizar processos produtivos, enquanto Souza et al. (2025) evidenciam a eficácia da Manufatura Enxuta e do DMAIC para reduzir desperdícios e elevar a produtividade. Ambos os estudos reforçam a relevância das práticas de gestão da qualidade, mas não abordam diretamente a aplicação em resinas PCR.

Por outro lado, Silva et al. (2023) e Almeida & Torres (2024) analisam as limitações técnicas da resina pós-consumo reciclada, destacando sua variabilidade de propriedades físicas e mecânicas. Embora esses trabalhos evidenciem os desafios da PCR, não apresentam soluções integradas que conciliem qualidade e gestão do conhecimento para superar tais barreiras.

Assim, observa-se que os estudos existentes contribuem de forma parcial: alguns enfatizam metodologias de gestão, outros discutem os problemas técnicos da PCR. O presente trabalho diferencia-se ao integrar práticas de Gestão da Qualidade e Gestão do Conhecimento aplicadas diretamente à resina PCR, demonstrando, por meio de resultados quantitativos e qualitativos, que a otimização de processos pode reduzir a taxa de rejeição e aproximar o desempenho da PCR ao da resina virgem. Essa abordagem amplia a literatura oferecer evidências científicas e gerenciais sobre a viabilidade da PCR como alternativa sustentável e competitiva.

3. METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, conduzida em ambiente industrial, com abordagem comparativa entre resina virgem e resina pós-consumo reciclada

(PCR). O objetivo foi avaliar propriedades técnicas, parâmetros de injeção e indicadores econômicos em dois cenários: inicial, sem ajustes específicos, e otimizado, com aplicação de práticas de Gestão da Qualidade e Gestão do Conhecimento.

3.1 DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS

Foram selecionadas amostras de resina virgem e resina PCR utilizadas na fabricação de embalagens para cosméticos. As amostras foram caracterizadas quanto às propriedades físicas e mecânicas, incluindo índice de fluidez (MFI), resistência à tração e densidade.

3.2 COLETA DE DADOS TÉCNICOS

Os ensaios foram realizados em ambiente industrial, registrando parâmetros de processo como pressão de recalque, temperatura de injeção, tempo de ciclo e consumo energético. Aspectos estéticos, como cor e transparência, também foram avaliados.

3.3 INDICADORES ECONÔMICOS DA NÃO QUALIDADE

Foram mensurados taxa de rejeição, custos de retrabalho, desperdício de material e impacto na produtividade, permitindo avaliar a viabilidade econômica da PCR em comparação à resina virgem.

3.4 CENÁRIO OTIMIZADO

A otimização foi conduzida por meio da aplicação de metodologias de Gestão da Qualidade, como PDCA e análise de causa e efeito (diagrama de Ishikawa). A Gestão do Conhecimento foi utilizada para sistematizar os dados coletados, consolidar informações técnicas e apoiar a tomada de decisão. Essa integração permitiu identificar variáveis críticas, ajustar parâmetros de processo e reduzir desperdícios.

3.5 TRATAMENTO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Os resultados foram organizados em tabelas comparativas, permitindo análise quantitativa e qualitativa entre os cenários. A interpretação buscou evidenciar ganhos técnicos e econômicos obtidos com a otimização, relacionando-os às práticas de Gestão da Qualidade e Gestão do Conhecimento aplicadas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados foram organizados em tabelas comparativas, permitindo analisar o desempenho da resina PCR frente à resina virgem em cenários inicial e otimizado. A seguir, apresentam-se os principais achados e sua interpretação.

Tabela 1 – Caracterização inicial da Resina PCR vs. Resina Virgem

Propriedade	Resina Virgem	Blend PCR (sem otimização)
Densidade (g/cm ³)	1,04	1,02
Índice de fluidez (g/10min)	12,5	9,8
Resistência à tração (MPa)	45	32
Alongamento (%)	220	150

Fonte: Dados técnicos fornecidos pelo fabricante da resina PCR (informação interna, 2026).

Os resultados da Tabela 1 mostram que a resina PCR, em sua condição inicial, apresenta menor resistência à tração e maior variabilidade no índice de fluidez em comparação à resina virgem. Essa fragilidade estrutural compromete sua aplicação em produtos que exigem maior desempenho mecânico, confirmando os desafios técnicos apontados por Silva et al. (2023).

Tabela 2 – Custos associados à não-qualidade (sem otimização)

Indicador	Resina Virgem	Blend PCR (sem otimização)
Taxa de rejeição (%)	3	6
Retrabalho (peças/1000)	12	85
Perda de material (%)	2	10
Custo adicional por lote (R\$)	500	2.300

Fonte: Dados operacionais obtidos em ambiente industrial (informação interna, 2026).

Conforme a Tabela 2, a taxa de rejeição da PCR inicial alcançou 6%, gerando custos elevados de retrabalho e desperdício de material. Esse cenário compromete a competitividade industrial, pois aumenta os custos de produção e reduz a margem de lucro. Sem otimização, a PCR não se mostra economicamente viável.

Tabela 3 – Indicadores ambientais comparativos (sem otimização)

Indicador	Resina Virgem	Blend PCR (sem otimização)
Consumo energético (kWh/kg)	2,8	2,5
Emissão de CO ₂ (kg/kg)	3,2	2,7
Resíduos gerados (%)	2%	9%
Aproveitamento de material (%)	98%	91%

Fonte: Dados operacionais obtidos em ambiente industrial (informação interna, 2026).

A Tabela 3 evidencia um paradoxo: embora a PCR inicial apresente menor consumo energético e emissões de CO₂, a elevada geração de resíduos compromete sua eficiência ambiental. Isso demonstra que a simples adoção da PCR não garante sustentabilidade, sendo necessário aprimorar o processo para reduzir rejeitos e aumentar o aproveitamento do material.

4.1 RESULTADOS OTIMIZADOS

Os resultados iniciais evidenciam as limitações técnicas, econômicas e ambientais da resina PCR quando utilizada sem ajustes específicos, confirmando os desafios apontados pela literatura. Diante desse cenário, foi conduzida a etapa de otimização, na qual se aplicaram práticas de Gestão da Qualidade e Gestão do Conhecimento com o objetivo de reduzir a variabilidade, minimizar custos de não qualidade e ampliar a viabilidade da PCR em comparação à resina virgem. A seguir, apresentam-se os resultados obtidos após a aplicação dessas práticas.

V

Tabela 1A – Propriedades técnicas da resina virgem e PCR (cenário otimizado)

Propriedade	Resina Virgem	Blend PCR sem ajuste	Blend PCR otimizado
Índice de fluidez (MFI)	12,0 g/10 min	10,5 g/10 min	11,2 g/10 min
Resistência mecânica	45 Mpa	38 Mpa	42 Mpa
Densidade	0,95 g/cm ³	0,97 g/cm ³	0,95 g/cm ³
Aspecto estético (cor)	Transparente	Leve opacidade	Opacidade reduzida

Fonte: Dados técnicos fornecidos pelo fabricante da resina PCR (informação interna, 2026).

Após a aplicação de práticas de Gestão da Qualidade e Gestão do Conhecimento, os resultados da Tabela 1A mostram que o índice de fluidez da PCR (11,2 g/10 min) aproximou-se do valor da resina virgem (12,0 g/10 min). Essa melhoria indica que ajustes de processo,

estruturados pelo ciclo PDCA, foram eficazes para reduzir a variabilidade e elevar o desempenho técnico da PCR.

Tabela 2A – Parâmetros de injeção (cenário otimizado)

Parâmetro	Resina Virgem	Blend PCR sem ajuste	Blend PCR otimizado
Pressão de recalque (bar)	850 bar	920 bar	880 bar
Temperatura de injeção (°C)	220°C	225°C	223°C
Tempo de ciclo (s)	22,5s	23,5s	23,0s
Consumo energético (kWh)	1,2 kWh por ciclo	1,35 kWh por ciclo	1,25 kWh por ciclo

Fonte: Parâmetros de injeção obtidos em ambiente industrial (informação interna, 2026)

A Tabela 2A demonstra que, no cenário otimizado, houve redução da pressão de recalque, do tempo de ciclo e do consumo energético. Esses ganhos estão diretamente relacionados à aplicação de ferramentas como o diagrama de Ishikawa, que permitiu identificar causas da variabilidade, e à sistematização de dados pela Gestão do Conhecimento, que apoiou decisões estratégicas de ajuste.

Tabela 3A – Taxa de rejeição e custos associados (cenário otimizado)

Indicador	Resina Virgem	Blend PCR sem ajuste	Blend PCR otimizado
Taxa de rejeição (%)	3%	6%	3%
Custo de retrabalho (R\$)	R\$ 1.500,00 3 lotes/mês	R\$ 3.000,00 6 lotes/mês	R\$ 2.000,00 6 lotes/mês
Desperdício de material (kg)	50kg / 3lotes	100kg / 6lotes	75kg / 6lotes
Impacto na produtividade	-2%	-5%	-3%

Fonte: Dados operacionais obtidos em ambiente industrial (informação interna, 2026)

Os resultados da Tabela 3A evidenciam que a otimização reduziu significativamente a geração de resíduos e aproximou os indicadores ambientais da PCR aos da resina virgem. Isso reforça que a integração entre práticas de qualidade e gestão do conhecimento não apenas melhora o desempenho técnico e econômico, mas também fortalece a sustentabilidade do processo.

Os resultados otimizados demonstraram avanços significativos tanto em desempenho técnico quanto em indicadores econômicos e ambientais, evidenciando que a aplicação estruturada de práticas de Gestão da Qualidade e Gestão do Conhecimento foi decisiva para a melhoria do processo. A seguir, apresenta-se a discussão crítica desses achados, destacando

como as metodologias empregadas contribuíram para transformar limitações iniciais em ganhos concretos de competitividade e sustentabilidade.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E IMPLICAÇÕES

O estudo demonstrou que a resina PCR, quando utilizada sem ajustes, apresenta limitações técnicas, econômicas e ambientais que comprometem sua competitividade frente à resina virgem. Entretanto, a aplicação estruturada de metodologias de Gestão da Qualidade, como PDCA e Ishikawa, aliada à Gestão do Conhecimento para sistematização e análise dos dados, foi decisiva para reduzir a taxa de rejeição de 6% para 3% e aproximar o desempenho da PCR ao da resina virgem. Dessa forma, os objetivos da pesquisa foram atingidos, evidenciando que a integração entre qualidade e conhecimento é capaz de transformar limitações iniciais em ganhos concretos.

5.1 CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO

Do ponto de vista prático, os resultados reforçam que a viabilidade da PCR depende não apenas de sua adoção, mas da aplicação de metodologias de melhoria contínua e gestão estruturada da informação. Para a indústria, isso significa maior competitividade, redução de custos de não qualidade e fortalecimento da sustentabilidade. Do ponto de vista científico, o estudo contribui para a literatura ao demonstrar que práticas clássicas de Gestão da Qualidade, quando integradas à Gestão do Conhecimento, podem consolidar a PCR como alternativa viável frente à resina virgem, ampliando o debate sobre inovação e sustentabilidade em processos produtivos

5.2 IMPLICAÇÕES TEÓRICAS E PRÁTICAS

O estudo demonstra que a integração entre Gestão da Qualidade e Gestão do Conhecimento pode reduzir limitações técnicas da resina PCR e aproximar seu desempenho ao da resina virgem. Teoricamente, amplia o debate sobre inovação e sustentabilidade na indústria de polímeros. Na prática, mostra que metodologias estruturadas de melhoria contínua tornam a PCR viável em escala industrial, fortalecendo a competitividade e a economia circular.

5.3 CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO

Este estudo contribui de forma significativa para a literatura e para a prática industrial ao integrar metodologias clássicas de Gestão da Qualidade com a Gestão do Conhecimento aplicadas diretamente à resina pós-consumo reciclada (PCR). A pesquisa demonstra, com evidências quantitativas e qualitativas, que a otimização de processos produtivos pode reduzir a taxa de rejeição de 6% para 3% e aproximar o desempenho da PCR ao da resina virgem, tornando-a uma alternativa competitiva e sustentável.

Do ponto de vista científico, o trabalho amplia o debate sobre inovação e sustentabilidade na indústria de polímeros, oferecendo uma abordagem inédita que conecta qualidade, conhecimento organizacional e economia circular. Do ponto de vista prático, fornece às empresas um caminho estruturado para viabilizar o uso da PCR em escala industrial, reduzindo custos de não qualidade e fortalecendo a competitividade.

Em síntese, este estudo evidencia que a resina PCR pode se tornar uma alternativa competitiva e sustentável frente à resina virgem quando apoiada por práticas estruturadas de Gestão da Qualidade e Gestão do Conhecimento. Mais do que resultados técnicos, a pesquisa demonstra que a integração entre metodologias clássicas e gestão da informação é capaz de transformar desafios em oportunidades, consolidando a PCR como um caminho viável para a inovação e para a sustentabilidade industrial.

5.4 LIMITAÇÕES DA PESQUISA E ESTUDOS FUTUROS

Como limitação, destaca-se que os resultados foram obtidos em ambiente industrial específico, o que pode restringir a generalização para outros setores ou condições de processamento. Além disso, não foram exploradas variáveis relacionadas à cadeia de suprimentos da PCR, como logística reversa e controle de fornecedores. Para pesquisas futuras, recomenda-se ampliar a análise para diferentes tipos de resina reciclada, explorar indicadores de desempenho ambiental em maior profundidade e investigar a integração de ferramentas digitais de gestão do conhecimento, como sistemas de big data e inteligência artificial, para potencializar ainda mais os ganhos observados.

6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. R.; TORRES, P. H. Propriedades mecânicas de polímeros reciclados pós-consumo. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 34, n. 2, p. 101-112, 2024.

DEMING, W. E. *Out of the Crisis*. Cambridge: MIT Press, 1986.

ISO. *ISO 9001:2000 – Quality Management Systems – Requirements*. Geneva: International Organization for Standardization, 2000.

JURAN, J. M. *Juran's Quality Handbook*. 6. ed. New York: McGraw-Hill, 2010.

NONAKA, I.; TAKEUCHI, H. *Criação de conhecimento na empresa: como as empresas japonesas geram a dinâmica da inovação*. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

SILVA, R. A.; OLIVEIRA, M. P.; SANTOS, L. F. Desafios da utilização de resinas PCR na indústria de polímeros. *Revista Brasileira de Materiais*, v. 12, n. 3, p. 45-58, 2023.

SOUZA, V. M.; CARVALHO, T. S. Aplicação do PDCA e Lean Manufacturing na otimização de processos industriais. *Gestão & Produção*, v. 32, n. 1, p. 77-89, 2025.