# IMPLEMENTAÇÃO DE LOGÍSTICA INTEGRADA NO PROCESSO DE RECICLAGEM DE PAVIMENTOS DO CENTRO ECOLÓGICO DE RECICLAGEM DE PAVIMENTOS SABESP – CERP.

**José do Carmo de Souza Junior**[1]
Tecnólogo em Edificações pela FATEC/SP, Engenheiro Civil pela Universidade Guarulhos e Mestre em Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais pela UNICAMP. Tecnólogo da Divisão de Manutenção e Serviços Operacionais Bragança Paulista da Superintendência Norte da SABESP.
**Cesar Flavio Dias de Sousa**[2]
Assessor Técnico da Superintendência Norte da SABESP.
**Luís Carlos Pascoal dos Santos**[3]
Analista de Gestão da Superintendência Norte da SABESP.
**Willians Fagner Roberto Candeias**[4]
Analista de Gestão da Superintendência Norte da SABESP.
**Cesar Fornazari Ridolpho**[5]
Superintendente Norte da SABESP.

**Endereço**[1]**:** Av. Dr; Fernando Costa, 730 – Vila Municipal, Bragança Paulista/SP - CEP: 12912-140 – Brasil - Tel: +55 (11) 98684-2165 - e-mail: jcjunior@sabesp.com.br**.**

## RESUMO

O Centro Ecológico de Reciclagem de Pavimentos Sabesp – CERP visa proporcionar a melhoria do material utilizado no processo de pavimentação das obras de saneamento, de forma sustentável, a partir da reciclagem dos materiais provenientes de remoção de pavimentação (base, sub-base e capa asfáltica). Através da tecnologia de aplicação da espuma de asfalto, os materiais de pavimentação removidos são reutilizados nas camadas de base e sub-base nos serviços de reposição de valas das obras de saneamento, gerando um pavimento com maior resiliência, minimização de custos e redução dos impactos ambientais.

De forma inovadora, foi implementada a logística integrada no processo de reciclagem de pavimentos do CERP, de forma a atender os 24 canteiros de serviços vinculados às unidades da Sabesp na Região Metropolitana de São Paulo, com o fornecimento do material reciclado usinado com a espuma de asfalto RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) espumado e RCC (Resíduo de Construção Civil) espumado, bem como a retirada dos materiais brutos nos canteiros para reciclagem no CERP.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reciclagem de pavimentos, Pavimentação asfáltica, Sustentabilidade

## INTRODUÇÃO

O aumento significativo do número de notificações e autos de infração por parte das prefeituras municipais, em especial no município de São Paulo, relativos aos serviços de reposição de pavimentos, demonstra a necessidade da busca de novas soluções que proporcionem a melhoria da qualidade dos serviços de pavimentação realizados nas obras de saneamento. Assim, foi criado um grupo de trabalho, buscando avaliar as lições aprendidas na evolução do processo de pavimentação na Sabesp e propor novas soluções técnicas e inovadoras para aprimorar a execução dos serviços de pavimentação.

Com base no objetivo estratégico Aumentar a Eficiência dos Processos e Fortalecer a Cadeia de Fornecedores, definido no Mapa Estratégico Sabesp, a Superintendência Norte definiu em seu Planejamento Operacional o objetivo operacional Aprimorar e Padronizar os Serviços de Pavimentação na ON, dessa forma, o trabalho em questão busca realizar ações integradas e inovadoras para a melhoria do processo de pavimentação na Sabesp. Os trabalhos também estão alinhados ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis.

## OBJETIVO

O trabalho tem por objetivo proporcionar a melhoria dos serviços de pavimentação realizados nas obras de saneamento, de forma sustentável e inovadora, através da reciclagem de pavimentos e logística dos materiais. Como diferencial foi implantada uma logística embarcada ao processo, permitindo que o material reciclado seja distribuído aos canteiros de serviços para aplicação e os materiais brutos provenientes da remoção de pavimentação sejam retirados nos canteiros e encaminhados para reciclagem.

## HISTÓRICO

A Sabesp ao longo dos anos tem desenvolvido esforços significativos no sentido de buscar a melhoria da qualidade dos serviços de reposição de pavimentos das obras de saneamento. Podem ser citadas diversas ações nesse sentido, contemplando a utilização de materiais e metodologias de execução e fiscalização para aprimoramento dos serviços realizados, conforme apresentado no histórico abaixo:

- 2001
  - Unificação dos contratos de pavimentação e serviços hidráulicos (Contratos Global Sourcing);
  - Pavimentação com base de concreto.
- 2004
  - Corte e reposição do pavimento com serra copo (CISON);
  - Fiscalização especializada com Técnico de Operação e Manutenção Externo (TOMÉ).
- 2006
  - Pavimentação com base em viga pré-moldada de concreto (SOPAC).
- 2013
  - Ampliação da abrangência da fiscalização de valas com a utilização de motos (MOTOMÉ).
- 2016
  - Pavimentação com base em brita graduada simples (BGS).
- 2017
  - Indicador de conformidade na execução da reposição de pavimento (ICERP), subsidiando a remuneração dos contratos de serviços.
- 2018
  - Melhoria nos contratos de controle tecnológico com acompanhamento dos serviços e controle tecnológico das intervenções em campo por empresas especializadas, visando contribuir para o atendimento da IR-01/2018 Instrução de reparação de pavimentos flexíveis danificados por abertura de valas, Prefeitura de São Paulo.
- 2019
  - Elaboração de Norma Técnica Sabesp NTS 0327 - Controle de compactação em aterros com o uso do *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP).
- 2021
  - Utilização de RAP Espumado em projeto piloto do CERP na unidade Leopoldina da Sabesp, com produção de cerca de 59.000 toneladas de material espumado.
- 2024
  - Elaboração de Norma Técnica Sabesp NTS 0372 - Reaterro de valas e recomposição de pavimento flexível, com parâmetros técnicos para aplicação do RAP espumado;
  - Implantação de logística integrada ao processo de reciclagem de pavimentos do CERP, com atendimento dos canteiros de serviços dos contratos Global Sourcing.

A figura 1 apresenta o RAP espumado e a sua aplicação em serviços de saneamento em algumas vias do município de São Paulo, durante o projeto piloto realizado na Sabesp Leopoldina entre os anos de 2021 e 2022.

**Figura 1 – Material RAP espumado e aplicação em serviços de saneamento**




Fonte: Sabesp (2021)

## METODOLOGIA UTILIZADA

A metodologia adotada consiste na produção do material reciclado com espuma de asfalto e na logística integrada para entrega do material produzido e retirada do material bruto nos canteiros das contratadas de serviços de manutenção de redes e ramais de água e esgoto da Sabesp.

Segundo Bonfim (2021), o RAP espumado, ou asfalto reciclado espumado, é uma mistura homogênea produzida em usina, a partir de agregados reciclados e espuma de asfalto, obtida através da injeção de ar e água no cimento asfáltico de petróleo (CAP) aquecido, conforme apresentado na figura 2.

Vasconcelos (2016), apresenta técnicas de reciclagem de pavimentos com o RAP espumado e a sua utilização em diversas rodovias, elencando aspectos vantajosos na utilização do produto, entre eles, aspectos ambientais devido a preservação de fontes naturais de materiais e destino adequado aos materiais fresados, além de aspectos econômicos com a redução de custos dos insumos, transporte e descarte de materiais fresados.

**Figura 2 – Espuma de asfalto produzida com injeção de água e ar no CAP**




Fonte: Catálogo Wirtgen, 2022

A usina de reciclagem pode produzir o material espumado tanto a partir dos resíduos de fresagem de pavimentos (RAP), ou resíduos de construção civil (RCC), com a aplicação da espuma de asfalto em conjunto com esses materiais e a realização de correções granulométricas com a adição de pó de pedra e estabilização do material com cal hidratada durante o processo de usinagem.

A produção é realizada através de contratação específica, onde o objetivo principal desta contratação é a implantação e operação 01 planta para beneficiamento dos resíduos de construção civil, reutilizando os materiais provenientes dos serviços de manutenção da SABESP: asfalto, fresa/raspa de asfalto (RAP), guias, sarjetas, brita graduada simples (BGS), entre outros, gerados nas obras de saneamento. A usina possui capacidade para atendimento da demanda da Sabesp, com uma produção total de 24.300 toneladas/mês de RAP Espumado/RCC Espumado.

A usina de reciclagem do tipo KMA, apresentada na figura 3, produz o material espumado obedecendo as etapas:

- Britagem
- Análises laboratoriais;
- Dosagens de RCC/RAP durante a produção do material espumado;
- Dosagem de pó de pedra durante a produção do material espumado;
- Dosagem de cal hidratada durante a produção do material espumado;
- Dosagem de Cimento Asfáltico de Petróleo – CAP aquecido a 170º C durante a produção do material espumado.

**Figura 3 – Usina móvel de reciclagem com espuma de asfalto tipo KMA**

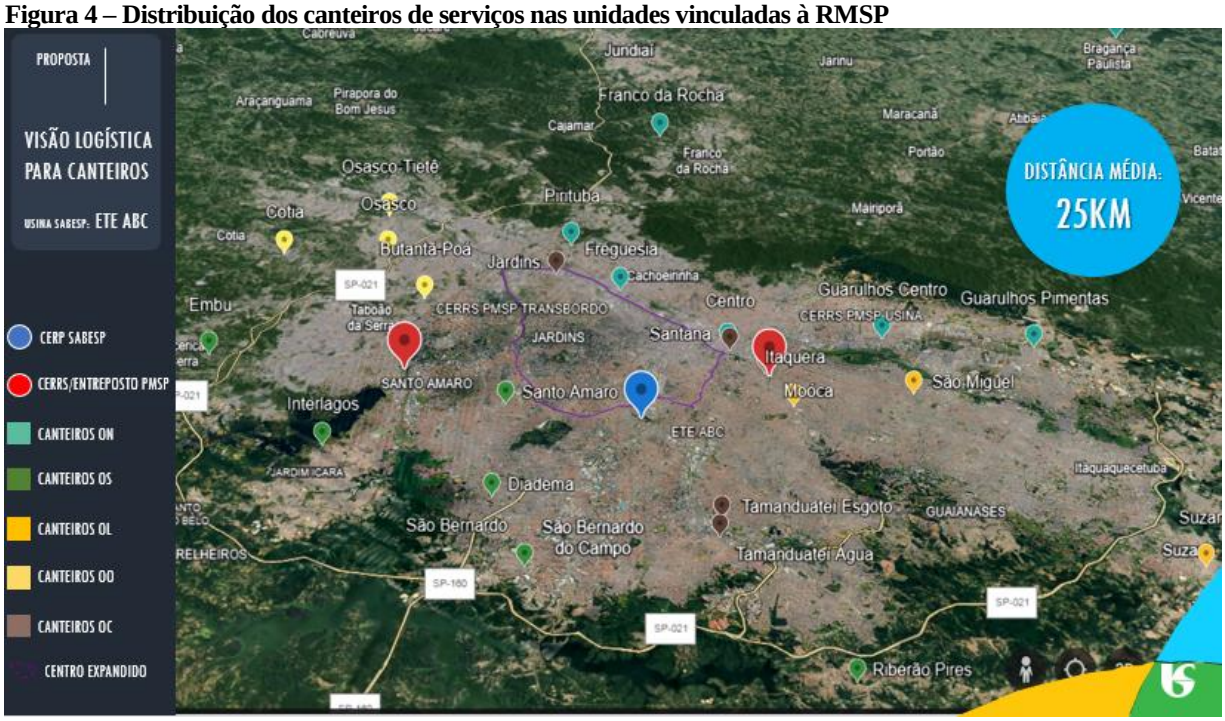



Fonte: Catálogo Wirtgen, 2022

O controle é realizado através da pesagem dos materiais beneficiados/reciclados e também pesagem dos materiais brutos, em balança rodoviária com capacidade de até 50 toneladas, instalada no CERP. A remuneração ocorre em função desses quantitativos de pesagem, por tonelada, tanto para o material produzido, quanto para o transporte dos materiais até uma distância de 25 Km. Para distâncias superiores, o contrato prevê um adicional em tonelada x quilômetro (Ton x Km), o que possibilita a logística para qualquer local determinado pela fiscalização Sabesp.

O diferencial implementado e inovador no processo se refere à logística integrada, pois permite que o material reciclado com espuma de asfalto seja direcionado aos 24 canteiros de serviço da Sabesp, vinculados às unidades da Sabesp na RMSP, conforme apresentado na figura 4. Nota-se que estrategicamente o local proposto para o CERP se encontra fora do centro expandido do município de São Paulo, que possui restrições de tráfego, facilitando assim a circulação dos caminhões para entrega e retirada dos materiais.

**Figura 4 – Distribuição dos canteiros de serviços nas unidades vinculadas à RMSP**




Fonte: Sabesp, 2024.

A logística integrada permite ainda a retirada dos materiais brutos nos canteiros, minimizando os descartes com bota-fora em aterros sanitários, reduzindo custos e minimizando os impactos ambientais. Adicionalmente o preço para transporte a locais mais distantes pode ser remunerado em tonelada x quilômetro, possibilitando o atendimento em qualquer localidade de interesse da Companhia, seja para casos emergenciais, serviços de maior porte, testes do material espumado, bem como é possível ainda realizar a entrega especificamente em alguma obra pontual que utilize volumes significativos de RAP espumado, agilizando a realização dos serviços em campo.

Também foram mapeados os locais onde a Prefeitura do Município de São Paulo pretende implantar o seu centro de reciclagem de resíduos sólidos, possibilitando eventual parceria para permuta de materiais entre os dois centros de reciclagem, Sabesp e Prefeitura.

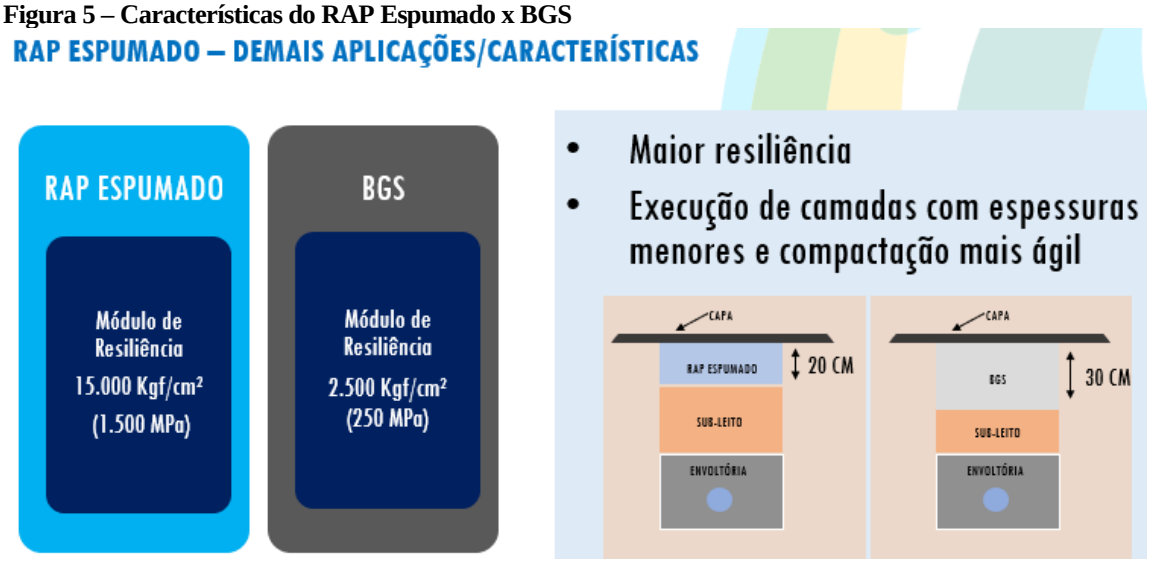
## RESULTADOS OBTIDOS

Um dos principais resultados obtidos no processo de reciclagem de pavimentos, é um material com maior resiliência para aplicação nas reposições de pavimentos dos serviços de saneamento, conforme observa-se na figura 5. O comparativo entre o material espumado obtido após a reciclagem e o material utilizado atualmente, brita graduada simples (BGS), demonstra que é possível obter um ganho de qualidade significativo nas características de suporte do pavimento asfáltico.

Nota-se que o material espumado possui um módulo de resiliência de 15.000 Kgf/cm2, ou 1.500 MPa, enquanto o BGS possui um módulo de resiliência de 2.500 Kgf/cm2, ou 250 MPa, ou seja, o material espumado possui um resiliência 6 (seis) vezes maior que o material granular.

Cabe ressaltar ainda que o material espumado possui um coeficiente estrutural igual a 1,5 no dimensionamento do pavimento, enquanto o coeficiente estrutural do material granular é igual a 1,0, dessa forma são necessárias camadas com espessuras menores na utilização do RAP espumado em comparação ao BGS, o que também possibilita uma compactação mais ágil na realização dos serviços.

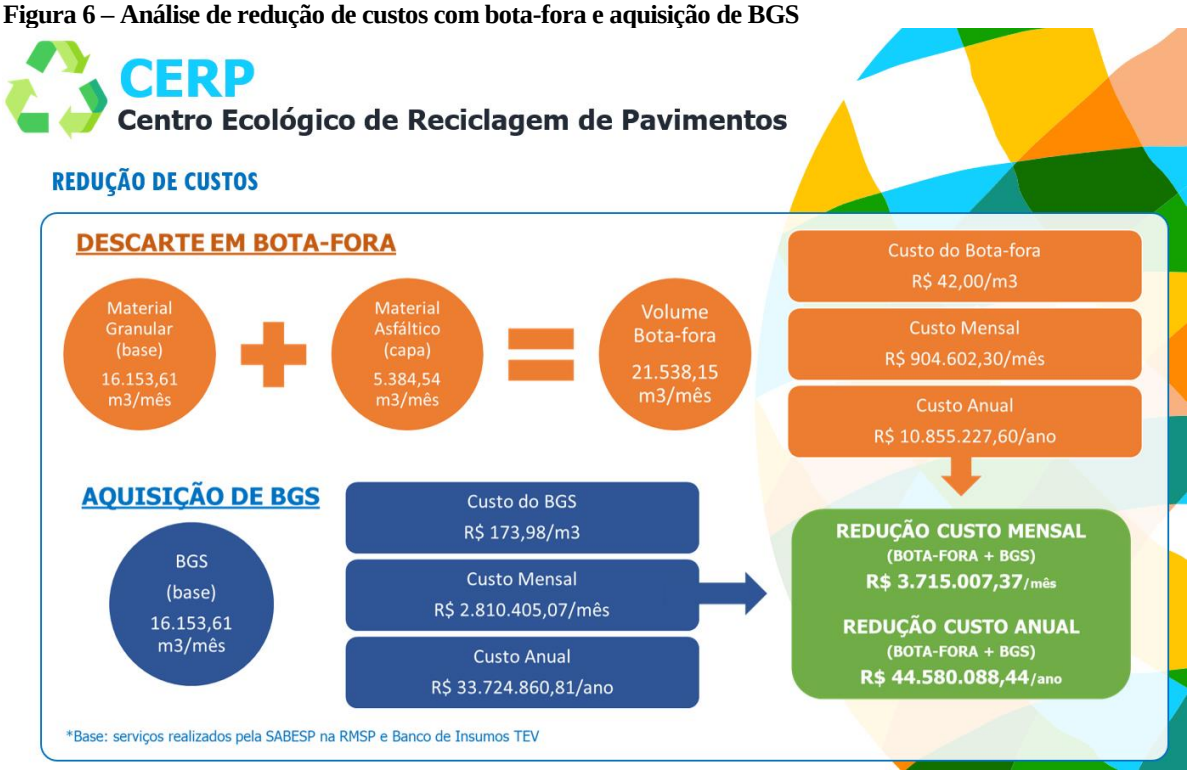
**Figura 5 – Características do RAP Espumado x BGS**




Fonte: Adaptado de Bonfim, 2021

Outro resultado relevante com a implantação do CERP é a redução de custos, entres eles, custos com bota-fora, pois o material anteriormente descartado em aterros sanitários passa a ser um insumo utilizado na reciclagem de pavimentos, bem como há uma redução com a aquisição da brita graduada simples (BGS), considerando que será utilizado o RAP espumado para a base do pavimento, não necessitando portanto da utilização da BGS. Há ainda estudos no sentido de reduzir também a aplicação do reparador asfáltico, também chamado de concreto resinoso, utilizado para selagem das valas executadas com base em BGS, tendo em vista que o RAP espumado já possui material ligante em sua composição, o cimento asfáltico de petróleo (CAP).

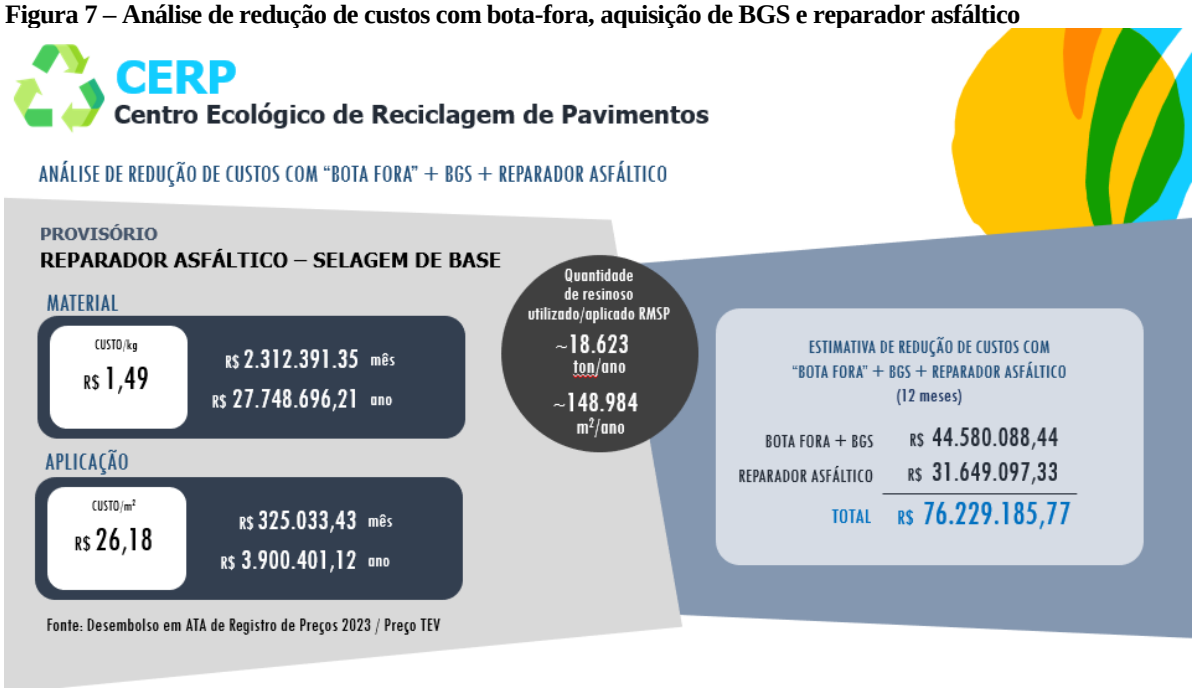
**Figura 6 – Análise de redução de custos com bota-fora e aquisição de BGS**




Fonte: Sabesp (2024)

A figura 6 apresenta a análise dos volumes de reciclagem para atendimento dos canteiros vinculados à RMSP, com os quantitativos de material granular utilizado como base e material asfáltico utilizado como revestimento do pavimento, bem como os valores do banco de preços Sabesp para descarte em bota-fora e aquisição de BGS, demonstrando que há uma redução expressiva de custos com a utilização do material espumado. Há ainda estudos para reduzir a utilização do reparador asfáltico, utilizado na selagem de base BGS, conforme demonstrado na figura 7.

**Figura 7 – Análise de redução de custos com bota-fora, aquisição de BGS e reparador asfáltico**




Fonte: Sabesp (2024)

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O principal aprendizado para a implantação da logística integrada ao CERP, foi a realização do projeto piloto do CERP realizado pela Sabesp na Vila Leopoldina. Os principais problemas identificados foram a falta de material para produção do RAP Espumado e após produzido a dificuldade de retirada do material pelas contratadas da Sabesp.

Com efeito, esses requisitos foram analisados e incorporados ao novo plano de logística do CERP, de forma a sanar os problemas com a entrega do material produzido e retirada do material bruto diretamente nos canteiros das contratadas. Outro aprendizado relevante foi obtido através de benchmarking realizado com a Prefeitura de São Paulo, que semelhantemente está implantando o seu Centro Ecológico de Reciclagem de Resíduos Sólidos (CERRS).

Cabe ressaltar as diversas vantagens com a implantação do processo de reciclagem de pavimentos, entre eles vantagens técnicas, econômicas e ambientais, além de vantagens com a melhoria da imagem da Companhia, conforme apresentado na figura 8.

**Figura 8 – Vantagens com a implantação do processo de reciclagem de pavimentos**




Fonte: Sabesp (2024)

## CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Considerando-se que o RAP Espumado é um material que possui um módulo de resiliência 6 vezes maior que o BGS, material utilizado atualmente, bem como são necessárias camadas menores para obter a mesma resistência, conclui-se que a adoção do material espumado pode proporcionar uma melhoria significativa na qualidade dos serviços de reposição de pavimentos nos serviços de saneamento.

Verifica-se ainda que a implementação de uma metodologia de reciclagem de pavimentos com uma logística integrada aos canteiros de serviços possibilita uma redução significativa de custos com a aquisição de materiais e bota-fora, mitigando os impactos ambientais devido ao menor descarte em aterros sanitários e redução na exploração de novas jazidas.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. BONFIM, V. Pavimento Sustentável. Ed. Exceção. São Paulo, Brasil, 2021

2. LIEDI *et.al*. Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros. ABEDA. Rio de Janeiro, Brasil, 2010.

3. SABESP. Norma Técnica Sabesp NTS0372 - Reaterro de valas e recomposição de pavimento flexível. São Paulo, Brasil, 2024.

4. SABESP. Relatório Final, Guia para Reposição de Pavimentos em Valas: Avaliação da Metodologia, de Materiais, de Métodos Construtivos, Realização de Diagnósticos, Proposição de Soluções para as Metodologias Atualmente Aplicadas para as Reposições de Pavimento na Diretoria Metropolitana – SABESP, Contrato MO 04.648/19, São Paulo, Brasil, 2021.

5. SABESP. Estudo Técnico, Implementação de Logística Integrada no processo do Centro Ecológico de Reciclagem de Pavimentos CERP ETE ABC, São Paulo, Brasil, 2024.

6. VASCONCELOS, K. Sustentabilidade e Reciclagem de Materiais em Pavimentação. Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes. Apostila da disciplina PTR 2388 – Transporte e Meio Ambiente, São Paulo, Brasil, 2016.

7. WIRTGEN GROUP COMPANY. Central Móvel de Mistura de Reciclagem a Frio KMA 240. Catálogo Técnico. Windhagen, Alemanha, 2022.