



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CATEGORIA 2

O GEOPROCESSAMENTO COMO FERRAMENTA DE GESTÃO AMBIENTAL DA COMPANHIA DE TRENS METROPOLITANOS - CPTM

INTRODUÇÃO

Antes de começarmos cabe realizar duas atualizações importantes sobre o título do trabalho. A primeira refere-se ao termo Geoprocessamento. Entendemos o Geoprocessamento como um dos elementos/processos que compõem o Sistema de Informação Geográfica - SIG (*Geography Information System - GIS*), sendo mais adequado a utilização deste último uma vez que o objeto do trabalho trata não apenas do Geoprocessamento, mas do SIG como um todo. A segunda atualização está relacionada à expressão Sistema de Informação Geográfica Ambiental - SIGA, que foi



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

atualizada recentemente para Centro de Controle Ambiental - CCA. Portanto, utilizaremos a nomenclatura mais atualizada ao longo do texto.

Feito isso, podemos iniciar dizendo que o objetivo deste trabalho é demonstrar e avaliar a implementação do Sistema de Informação Geográfica - SIG (*Geography Information System - GIS*) como ferramenta de gestão ambiental da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos - CPTM, ferramenta esta denominada Centro de Controle Ambiental - CCA.

Os fenômenos ambientais são espaciais, ou seja, se manifestam e se distribuem ao longo do espaço. Isso imprime a obrigatoriedade da utilização de ferramentas de análise espacial (ferramentas SIG). Qualquer análise ambiental que não utilize ferramenta de análise espacial torna-se uma análise incompleta.

De modo geral, as ferramentas SIG são compostas por uma infinidade de subferramentas como, por exemplo, algoritmos de geoprocessamento de imagens de satélite, algoritmos de análise de rotas em sistemas de transporte etc. Atualmente quase todas as demandas relacionadas ao SIG apresentam algum tipo de subferramenta que supra a necessidade em questão. Isso amplia exponencialmente a utilização das ferramentas SIG como ferramentas de gestão ambiental. Uma curiosidade muito significativa e vantajosa é que atualmente as ferramentas SIG livres e gratuitas



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

tornaram-se extremamente poderosas, realizando quase todas as funções embutidas em softwares pagos.

Processos de mudanças climáticas como o aquecimento da temperatura global, mudança drástica no regime de chuvas, inundações, entre outros, são cada vez mais frequentes, e afetam diretamente a rotina diária da CPTM, que por sua vez é cobrada a realizar a melhor gestão ambiental possível de seus domínios.

Os fenômenos ambientais são tanto mundiais quanto locais. Os desafios em ambas as escalas são similares, logo, as soluções também o serão, o que nos possibilita afirmar que os problemas e soluções a serem apresentados aqui são, sem qualquer sombra de dúvida, ultra relevantes para toda a comunidade do setor metroferroviário.

Como sabemos, a falta de integração em processos produtivos pode acarretar problemas graves. A não integração de análises ambientais gera muitos resultados insuficientes, contraditórios e equivocados. A implementação indevida de uma edificação, por exemplo, em Área de Proteção Permanente - APP pode ser resultado de ações desarticuladas entre o projetista e o gestor ambiental, e os desdobramentos disto podem ser péssimos para o meio ambiente e os usuários da edificação.

Considerando isto, dois aspectos cercam a problemática principal enfrentada pela gestão de meio ambiente da CPTM. O primeiro refere-se à complexidade do tema ambiental, que por si possibilita diversas subdivisões temáticas acarretando a



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

necessidade de criação de muitas frentes de trabalho operando simultaneamente, produzindo grande volume de dados. O segundo aspecto refere-se à grande extensão territorial da CPTM, o que gera uma forte demanda por equipes amplas, capazes de abranger todo o território da companhia.

A combinação destas duas dificuldades nos leva a questão central: como é possível fazer com que tantos agentes ambientais, envolvidos em diversas frentes de trabalho, distribuídos em distintos lugares, acompanhem em tempo real e simultaneamente todas as análises e informações produzidas?

A solução para tal problema foi alcançada com a implementação de um SIG cooperativo, o chamado Centro de Controle Ambiental - CCA. Obviamente o Sistema CCA foi construído respaldado em normas e procedimentos internos à companhia, ou seja, a implementação foi realizada em sincronia com as regras internas pré-estabelecidas. Por outro lado, e, eventualmente, algumas regras sofreram ajustes após a colocação em prática do novo sistema.

Abordaremos em detalhes o Sistema CCA mais à frente. Vamos detalhar agora um pouco mais dos problemas de gestão ambiental vividos pela companhia, os quais com certeza também fazem parte da realidade dos demais operadores do setor metroferroviário.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

DIAGNÓSTICO

AMPLO LEGADO PATRIMONIAL, TERRITORIAL E OPERACIONAL

Pode-se dizer que a Companhia Paulista de Trens Metropolitanos - CPTM consiste numa empresa de dimensões "faraônicas". A partir de sua criação, em 28 de maio de 1992, a CPTM assume o Sistema de Trens da Região Metropolitana de São Paulo - RMSP em substituição à Companhia Brasileira de Trens Urbanos - CBTU e à Ferrovia Paulista S/A - FEPASA, passando a operar: em 1994 as atuais linhas 7, 10, 11 e 12; em 1996 as linhas 8 e 9; e em 2018 a linha 13.

Atualmente a CPTM é responsável pelas linhas 7, 10, 11, 12 e 13, totalizando 196 km de linhas, 57 estações operacionais, atendimento a 18 municípios e aproximadamente 13.518.727 m² de área sob seus domínios. Juntamente com outros modais, compõem a rede de transporte público metropolitano e configura-se como uma das melhores alternativas para atenuar o problema da mobilidade na RMSP.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

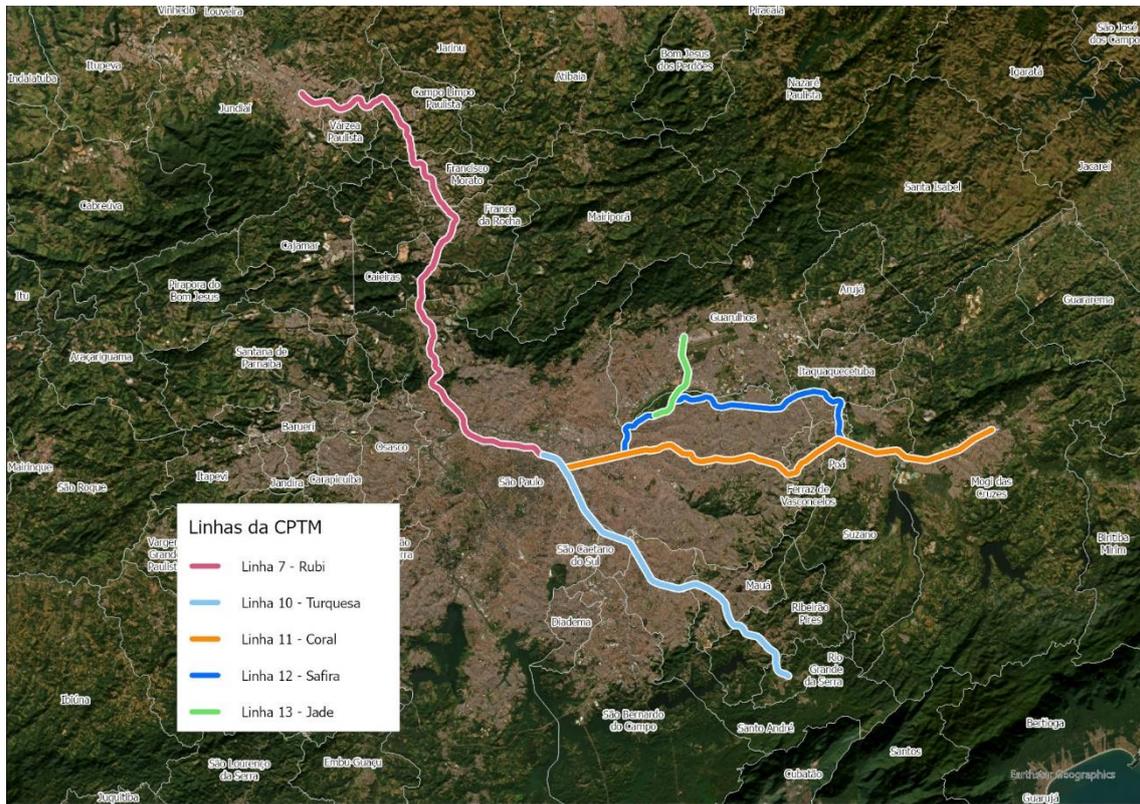


Figura 1 – Mapa da Malha Ferroviária Atual da CPTM

Ao longo de 30 anos de existência verifica-se a ampliação do número de passageiros atendidos, passando de 800 mil em 1997 para 1,9 milhões em 2023.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

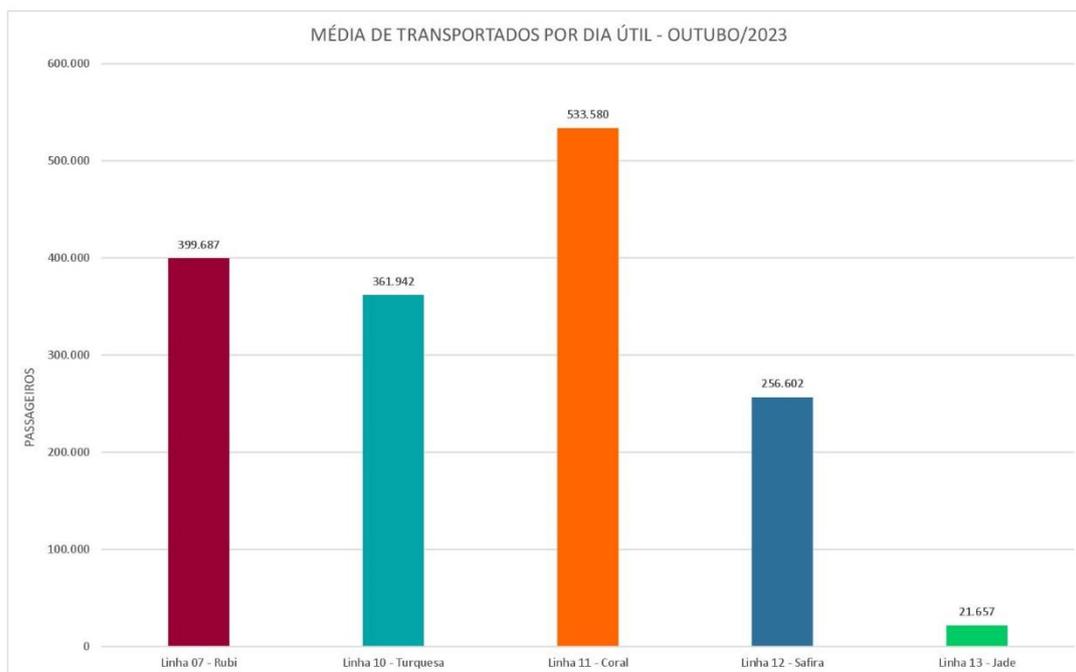


Figura 2 – Gráfico da Média, por Linha, de Transportados por Dia Útil (até outubro/2023)

Se isolarmos os dados até 2018, quando a CPTM ainda era responsável pelas linhas 8 e 9, o número de passageiros atendidos alcançava 2,8 milhões.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

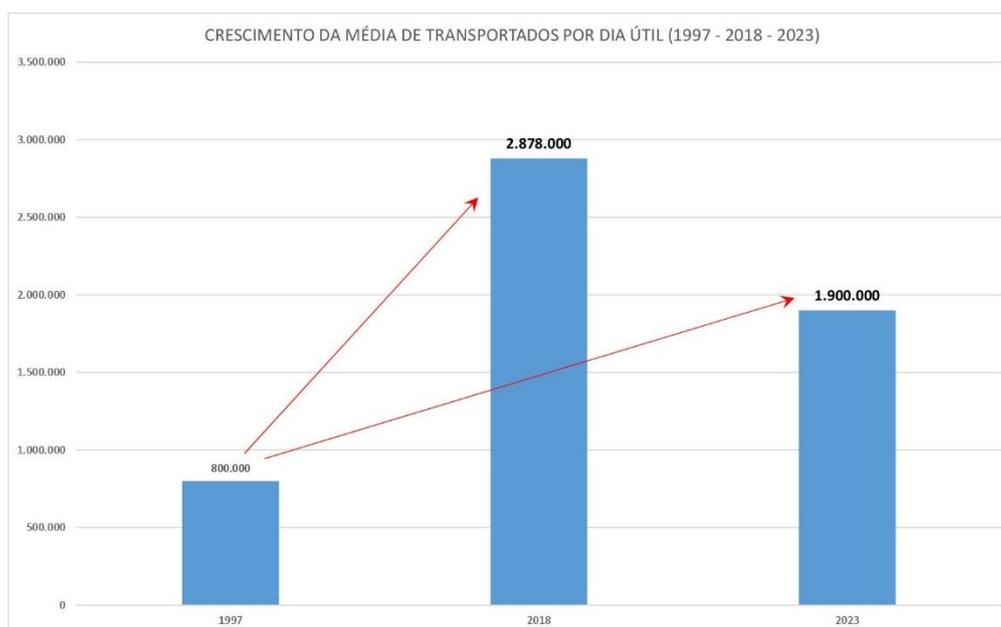


Figura 3 – Evolução dos Transportados por Dia Útil (1997 - 2018 - 2023)

Com dimensões territoriais, patrimoniais e operacionais tão expressivas não seria estranho imaginar que os desafios de gestão ambiental também apresentam escalas "monumentais".

A própria localização das linhas herdadas pela CPTM, e não obstante a das demais operadoras do setor metroferroviário, apresenta um potencial significativo de risco ambiental. A malha ferroviária operada foi, em grande parte, implantada junto às margens dos principais rios paulistas - o Tietê, o Pinheiros, o Tamanduateí e o Juqueri, ao longo de extensas áreas de várzea, nas quais a dinâmica hídrica é sabidamente



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

dominada por eventos de inundação. Por melhores que sejam as soluções modernas de engenharia para conter/amenizar as inundações ao longo das linhas dos trens, num cenário atual de mudança climática com chuvas cada vez mais concentradas e intensas, os processos de inundação são quase inevitáveis. Tais mudanças são processos globais, cujo controle vai além das possibilidades de uma única companhia. Em tais condições resta à CPTM mitigar os impactos das mudanças no regime das chuvas realizando a melhor gestão ambiental possível dos sistemas de drenagem, pontos de inundação e alagamento em seus extensos territórios.

Além dos problemas em função da localização das linhas soma-se outro fator: a intensidade da dinâmica do transporte dos passageiros aliada à dinâmica do sistema operacional. Com um número de usuários amplo, conforme já citado (média diária de 1,9 milhões em 2023), somado à intensa atividade de operação do sistema, a quantidade, por exemplo, de resíduos sólidos e efluentes gerados e lançados irregularmente por lindeiros é igualmente vasto, tornando complexa a gestão destes aspectos ambientais.

A somatória de dimensões amplas e a diversidade de aspectos ambientais, força à necessidade de uma quantidade de mão de obra significativa para atender todas as áreas da companhia no que tange a gestão ambiental eficiente. Para tanto, o número de profissionais é elevado, assim como o volume de dados produzidos por tais



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

profissionais. Caso o desenvolvimento dos trabalhos destes não esteja perfeitamente sincronizado o risco de duplicidade e contradição de análises é alto, o que nos leva à primeira parte do problema central: como integrar em tempo real o trabalho dos profissionais distribuídos ao longo da malha operacional?

A COMPLEXIDADE DO TEMA AMBIENTAL

Outro aspecto crucial em relação aos fenômenos ambientais é a sua complexidade inerente. A gama de temas e subdivisões analíticas dos fenômenos ambientais cria um universo de possibilidades. Obviamente nem todos os problemas ambientais atingem a CPTM. Tornados ou ciclones, apesar de eventualmente atingirem algumas partes do sul do país, não fazem parte da rotina da companhia. Porém, uma parte importante dos fenômenos compõe a lista de problemas com a qual a CPTM e as demais operadoras do setor metroferroviário lidam diariamente. Inundações, alagamentos, ruído, vibração, obstruções de via por quedas de árvores, contaminação do solo, entre outros, fazem parte do dia a dia deste setor.

Para realizar a gestão adequada das questões ambientais, a CPTM criou os Programas Ambientais (num total de 11 [onze] atualmente) e seus respectivos Procedimentos, sincronizados com as chamadas Naturezas dos Programas Ambientais (totalizando 17



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

[dezessete] Naturezas). As Naturezas se subdividem em itens de monitoramento ambiental e a quantidade de itens pode variar de acordo com as características de cada Natureza.

Programa Ambiental	Natureza
1. Patrimônio Arqueológico, Histórico e Cultural	1. Arqueologia
	2. Patrimônio Histórico e Cultural
2. Áreas Contaminadas	3. Áreas Contaminadas
3. Efluentes e Emissões Atmosféricas	4. Emissões Atmosféricas
	5. Efluente
4. Resíduos Sólidos e Produtos Perigosos	6. Produtos Perigosos
	7. Resíduos Sólidos
5. Processos Morfodinâmicos	8. Erosões e Movimentos de Massa
	9. Sistema de Drenagem, Inundações e Alagamentos
	10. Gerenciamento de Solo
6. Fauna	11. Fauna
7. Áreas Ambientalmente Protegidas e Vegetação	12. Vegetação
	13. Áreas Ambientalmente Protegidas
8. Ruídos e vibrações	14. Ruído e Vibração
9. Recursos Hídricos	15. Recursos Hídricos
10. Lançamentos e Descartes Irregulares	16. Lançamentos Irregulares
11. Outros	17. Segmentação Urbana
	Comunicação Social
	Sinalização e Isolamento
	Documentação

Figura 4 – Tabela dos Programas Ambientais e Naturezas

A Gerência de Meio Ambiente - GEA da CPTM é o setor responsável por cuidar da gestão ambiental da companhia. Está dividida em duas partes: Departamento de Meio



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Ambiente - Operações (DEAO) e Departamento de Meio Ambiente - Empreendimentos (DEAE). A divisão é necessária pois, apesar dos Programas Ambientais serem os mesmos para os dois departamentos, a dinâmica Operacional da companhia é diferente da dinâmica dos Empreendimentos/Obras, exigindo uma abordagem distinta da gestão ambiental para cada caso.

Numa conta simples, multiplicando as 17 (dezessete) Naturezas dos Programas Ambientais com 2 (dois) departamentos, temos um total de 34 (trinta e quatro) frentes de trabalho temáticas em andamento, o que nos leva à segunda parte do problema central: como integrar em tempo real o trabalho dos profissionais distribuídos em tantas frentes temáticas e simultâneas sem que haja incompletude, duplicidade e/ou contradição de informações produzidas?

A DESARTICULAÇÃO DE AÇÕES E INFORMAÇÕES, E SUAS CONSEQUÊNCIAS

Em gestão de projetos há uma hipótese muito aceita: a de que as chances de falha de produtividade aumentam a medida em que aumenta o número de pessoas executando certa atividade. Todo processo produtivo está sujeito a falhas. Até por isso, existem normas que determinam os índices de falhas aceitáveis em cada processo. E a elevação do número de pessoas numa determinada atividade acaba elevando também a



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

possibilidade da ocorrência de erros. Duplicidades de dados e desarticulação de análises, por exemplo, são esperados nestes casos.

Como já foi citado, os dados de gestão ambiental são gerados por distintos colaboradores e o volume de dados produzidos é muito elevado e sem a devida integração dos processos de produção as falhas produtivas/analíticas podem atingir níveis não toleráveis.

Não apenas as análises ambientais em si ficam submetidas a falhas, mas também as ações ambientais em campo. Com a falta de integração o planejamento de campo e das ações fica prejudicado, podendo ocorrer direcionamento de esforços em problemas não tão urgentes em detrimento de ações em problemas cruciais, além da sobreposição de ações para o mesmo problema. A cobertura do monitoramento físico acaba comprometida e/ou com alguma ineficiência, acarretando inclusive em gastos desnecessários de tempo e recursos.

Mediante o conjunto de todos os desafios apresentados, temos, por fim, a completude da questão central: como integrar em tempo real o trabalho de gestão ambiental de todos os profissionais envolvidos, distribuídos em uma vasta área territorial, subdivididos em muitas frentes temáticas de atividade e produzindo um grande volume



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

de dados, sem que haja incompletude, desencontro e/ou duplicidade de informações, desarticulação de análises, além de gastos ineficientes de tempo e físico financeiros?

O SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA - SIG (*GEOGRAPHY INFORMATION SYSTEM - GIS*) COMO SOLUÇÃO

Seria ingenuidade afirmar que o Sistema de Informação Geográfica - SIG (*Geography Information System - GIS*) é a ferramenta capaz de solucionar todos as dificuldades de integração de ações e dados na gestão ambiental. Porém, e na mesma proporção, seria um equívoco dizer que a solução para os problemas de integração de dados na gestão ambiental é possível sem a utilização do SIG. Isso ocorre em função de uma característica elementar dos fenômenos ambientais: todo o fenômeno ambiental é essencialmente espacial, ou seja, se desenvolve e se distribui ao longo do espaço.

Tal característica exige a utilização de ferramentas de análise espacial, ou ferramentas SIG, em análises ambientais, visando suprir a demanda espacial dos estudos. É possível afirmar que análises ambientais que não utilizam ferramentas SIG tornam-se incompletas. Basta imaginar o que seria da conclusão de uma análise de áreas susceptíveis à movimentos de massa (processos morfodinâmicos) em domínios



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

ferroviários, por exemplo, sem a utilização de uma ferramenta SIG. Ainda que se realize o trabalho de maneira totalmente analógica (em papel) a análise espacial sistêmica permaneceria inseparável do resultado, ou seja, o SIG “analógico” estaria em prática.

Tendo em vista o problema central já exposto nos itens anteriores e a característica espacial inerente aos fenômenos ambientais, optou-se pelo desenvolvimento de um Sistema de Informação Geográfico - SIG (*Geography Information System - GIS*) como ferramenta de gestão ambiental da CPTM, capaz de promover a superação de tais dificuldades, sistema esse denominado Centro de Controle Ambiental - CCA, cuja construção vem sendo realizada desde 2018, tendo passado por várias fases de aperfeiçoamento.

O Centro de Controle Ambiental - CCA pode ser definido como uma ferramenta SIG que permite a realização de análises espaciais dando subsídio instrumental à gestão ambiental da CPTM. Através dele é possível a integração dos trabalhos dos profissionais que atuam na área ambiental da companhia e da correlação sistêmica das análises e dos resultados obtidos.

O Sistema CCA permite a atualização em tempo real dos dados ambientais produzidos em campo e em escritório por todas as pessoas envolvidas, distribuídas ao longo dos domínios da CPTM, nas mais diversas frentes temáticas de atuação. Tais profissionais podem avaliar simultaneamente os resultados de todos os trabalhos em andamento,



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

possibilitando assim a convergência e consistência das análises obtidas. Permite consultar o histórico de resultados anteriores para apoiar as análises presentes. A gama de subferramentas disponíveis no Sistema também é ampla, como, por exemplo, painéis de indicadores ambientais (*Dashboards*) com atualização imediata, mapas analíticos (*Web Maps*) também com atualização imediata, bancos de dados geoespaciais (*Geodatabase*) integrados aos mapas e painéis, entre outros.

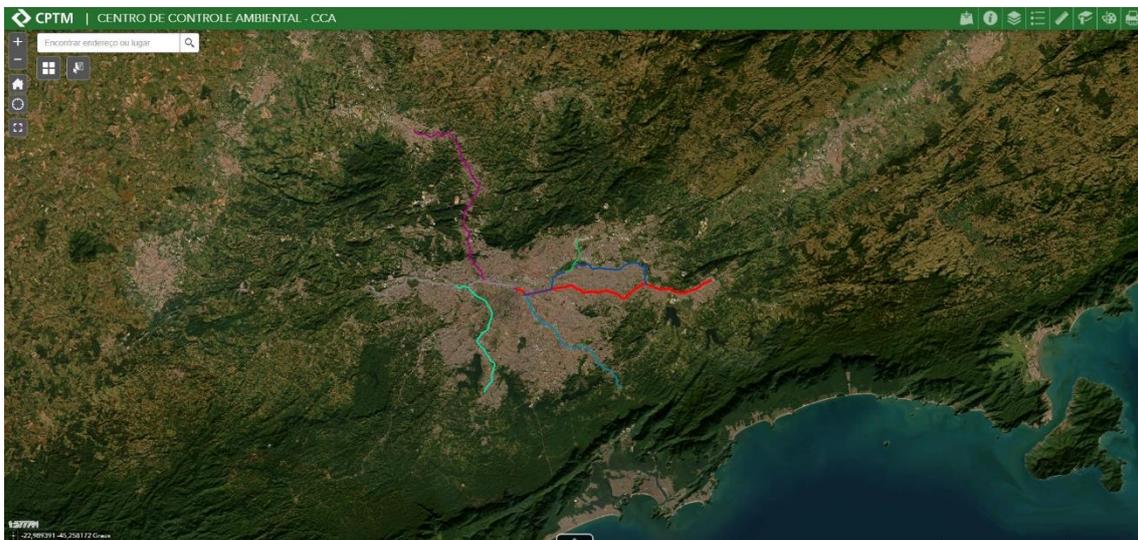


Figura 5 – Centro de Controle Ambiental - CCA (*Web Map* principal)

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 6 – Exemplo de Painel de Indicadores Ambientais (*Dashboard*)

A estruturação do Sistema CCA pode ser resumida em quatro módulos: um módulo de captação e monitoramento de dados (formulários); um módulo de armazenamento de dados geoespaciais (*Geodatabase*); um módulo para análises de dados geoespaciais (*Desktop GIS*); e um módulo para compartilhamento web de dados geoespaciais (*Web GIS*).

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

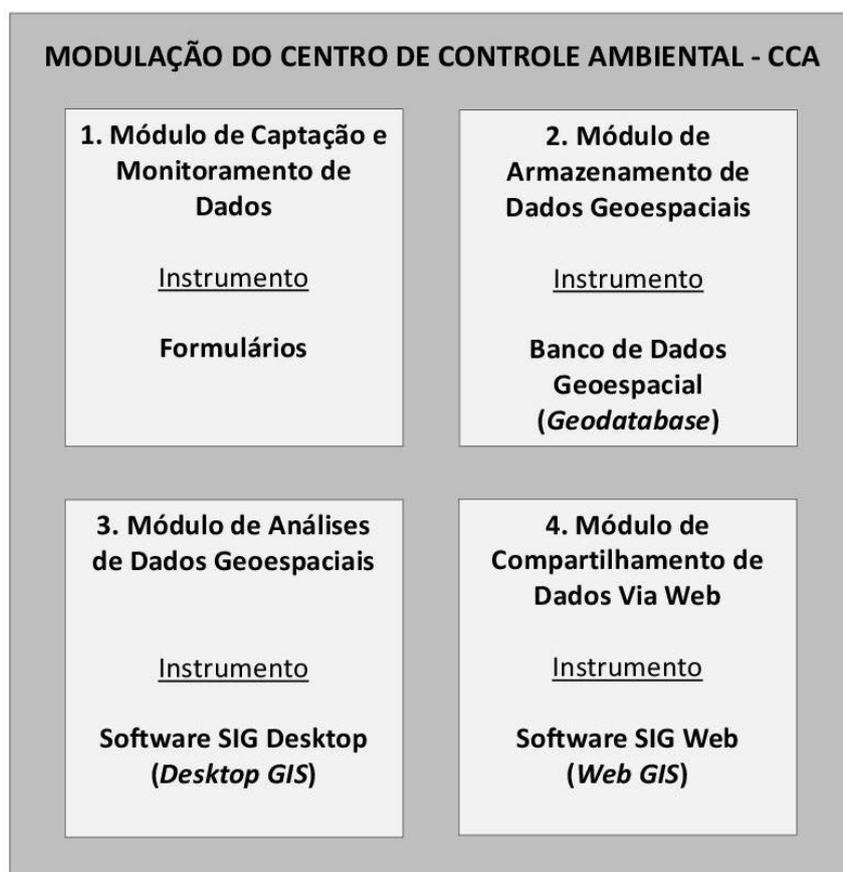


Figura 7 – Esquema de Modulação do Sistema CCA

O módulo de captação e monitoramento de dados consiste num conjunto de normas, procedimentos e formulários que possibilitam o cadastramento e o monitoramento de determinado item ambiental. Colocado em prática, configura basicamente dois conjuntos: um para o registro inicial (entrada) do item no banco de dados e outro para acompanhamento contínuo. O grupo de formulários para registro inicial é chamado de



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Formulários de Cadastramento/Caracterização - FDCs, enquanto o grupo para acompanhamento contínuo recebe o nome de Formulários de Monitoramento - FMs.

O módulo de armazenamento de dados geoespaciais é constituído por um banco de dados geoespacial (*Geodatabase*) que guarda todas as informações advindas do módulo de captação e monitoramento, além de informações resultantes de análises posteriores. A principal característica deste módulo é que o banco de dados é único, central, acessível de qualquer lugar e por qualquer usuário. Outra característica fundamental é a modelagem do banco, que contempla a relação dos atributos de interesse de cada item ambiental. Aliás, cabe aqui uma breve pontuação a respeito da definição de modelagem de bancos de dados.

Toda as partes da estruturação de um Sistema SIG são importantes. Porém, a modelagem do banco de dados do Sistema é o "calcanhar de Aquiles". Qualquer falha na modelagem afeta e desconfigura todas as demais partes. Numa definição muito simplificada podemos dizer que a modelagem de banco de dados consiste na determinação de Classes (ou "tipo de tabela" de dados), Atributos (ou "colunas" da tabela), Valores (ou "dados de preenchimento" de cada célula da tabela) e Registros (ou "linhas" da tabela). Apesar de estranha num primeiro momento, fica fácil compreendê-la se tomarmos como exemplo uma tabela com informações de endereço de uma determinada pessoa. Admitindo que a tabela tenha a função de armazenar dados sobre



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

os diversos endereços desta pessoa poderíamos dizer que a Classe desta tabela no banco de dados seria chamada de "Endereço", e que outras Classes sobre a mesma pessoa seriam possíveis, como "Caracterização Física", "Controle Financeiro", etc. Possivelmente a tabela "Endereço" teria atributos, como: nome da pessoa, tipo de endereço, nome de logradouro, número, CEP, bairro, estado etc. Logo, os Atributos seriam as "colunas". Os "dados de preenchimento das células" corresponderiam aos Valores. A "coluna" "tipo de endereço", por exemplo, poderia variar entre Valores como "Residencial" e "Comercial". Cada "linha" da tabela equivaleria aos Registros, podendo ser em número igual à quantidade de endereços da pessoa em questão. É fundamental que a sincronização entre a modelagem dos formulários de entrada de dados e a modelagem do banco de dados receptor esteja perfeita, pois, só assim é possível usufruir de todos os benefícios da utilização da ferramenta SIG. Alguns exemplos da modelagem do CCA serão expostos mais à frente.

O módulo para análise de dados geospaciais consiste num software SIG local (*Desktop GIS*) que permite realizar o processamento dos dados armazenados no *Geodatabase*. Aqui entram em cena os mais diversos tipos de algoritmos com funções sistêmicas para análises espaciais desde as mais simples (exemplo: localização espacial de determinado dado) até as mais complexas (exemplo: geoprocessamento de imagens de satélite para determinação de áreas com ocorrência de queimadas).



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

O módulo para compartilhamento web de dados geoespaciais consiste num software em ambiente web (*Web GIS*) que possibilita o compartilhamento via rede web dos dados armazenados no *Geodatabase*. Através de mapas (*Web Maps*) e painéis (*Dashboards*) interativos é possível disponibilizar via rede intranet e/ou internet (Geoportais) quaisquer informações armazenadas no banco de dados.

De modo geral, as informações apresentadas ilustram as principais características e o funcionamento do Sistema CCA desenvolvido pela CPTM. Passemos agora para exemplos práticos na utilização do Sistema.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

O APERFEIÇOAMENTO DA GESTÃO AMBIENTAL DE ÁRVORES ISOLADAS

O aperfeiçoamento da gestão ambiental de árvores isoladas a partir da implementação do Sistema CCA é um bom exemplo de estudo de caso para ilustrar os resultados obtidos.

O "Programa Ambiental para Áreas Ambientalmente Protegidas e Vegetação" é o plano da CPTM que contempla a gestão ambiental da vegetação, e por sua vez de árvores



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

isoladas, além das áreas ambientalmente protegidas como sugere o próprio título. O Procedimento anexo a este Programa apresenta de maneira detalhada as diretrizes para o adequado tratamento a ser aplicado aos indivíduos arbóreos. Apenas para efeitos didáticos, sintetizaremos o Procedimento dividindo-o em duas etapas, ou fases: a fase de cadastramento e a fase de manejo.

A fase de cadastramento consiste na etapa de coleta inicial de dados de cada indivíduo arbóreo. São adquiridas informações fundamentais para a caracterização das árvores, como, por exemplo: registro fotográfico, nome popular, nome científico, família, altura, DAP, volume lenhoso, distância da via mais próxima, coordenada geográfica etc. O agente ambiental vai a campo para a coleta de informações munido de um formulário previamente estabelecido no qual constam todos os atributos a serem captados. O formulário aplicado ao cadastramento das árvores é o Formulário de Cadastramento/Caracterização - FDC (Árvore Isolada). Além de serem utilizadas para as atividades internas da companhia, as informações também são utilizadas para prestar contas junto às instituições de monitoramento ambiental.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CPTM	MEIO AMBIENTE				
	Linha	Data da Emissão			
Ficha de Cadastro/Caracterização - FDC <small>Área Ambiental/Unidade Patrimônio e Implantação - Contratações - Arvore Isolada</small> <small>FDC-ASP/US.VIA.A.1305.L.N.00001</small>					
Área Gestora CPTM	Nº Contrato	Contratada	Representante de Contratada/Área Gestora do CPTM	Local	Elaborado por:
Registro Fotográfico					
					

Página 1 de 2

CPTM	MEIO AMBIENTE				
	Linha	Data da Emissão			
Ficha de Cadastro/Caracterização - FDC <small>Área Ambiental/Unidade Patrimônio e Implantação - Unidade - Arvore Isolada</small> <small>FDC-ASP/US.VIA.A.1305.L.N.00001</small>					
Área Gestora CPTM	Nº Contrato	Contratada	Representante de Contratada/Área Gestora do CPTM	Local	Elaborado por:
Chave Primária da Área de Meio Ambiente			Elemento de Monitoramento (Número)		
ASP/US.VIA.A.1305.L.N.00001			IL00001		
Altura			DAP		
Condição Fitossociológica			Família		
Nome Científico			Nome Popular		
Área de APP?	Rolo da Copa		Volume Lenhoso		
Km/Ponte	Via		Monte qto		
Nome da Estação			Tronco e Sentido da Via (entre Estações)		
Coordenada Geográfica (Latitude e Longitude)					
Número do Contrato do Autor do Registro (R1)		Nome do Autor do Registro (Pessoa Jurídica)		Nome do Autor do Registro (Pessoa Física)	
Data do Registro		Hora do Registro		Oferece risco à operação das trechos?	
DAC Relacionado					
OBS: Relacionado					
Observações Complementares					

Página 2 de 2

Figura 8 – Exemplo de Formulário de Cadastro/Caracterização - FDC (Árvore Isolada)

A fase de manejo consiste na realização de serviços de poda, transplante ou supressão da árvore. Para o manejo também são coletas informações importantes, como, por exemplo: atualização do registro fotográfico, atualização da altura, DAP, volume lenhoso, entre outros. O formulário aplicado ao manejo das árvores é o Formulário de Manejo de Vegetação - FMV. A coleta atualizada das informações serve, por exemplo,

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

para contabilização interna do valor operacional do manejo da vegetação e atualização permanente dos dados de vegetação armazenados no banco de dados.

CPTM	MEIO AMBIENTE				
	Linha	Data de Emissão			
Ficha de Manejo Ambiental (FMA) Área Ambiental Proteção e Vegetação - Vegetação Anore Isolada FMA AAPV-VL-A-1300-L-000001					
Área Gestora CPTM	Nº Contrato	Contratada	Representante da Contratada/Área Gestora da CPTM	Local	Elaborado por:
Registro Fotográfico					
					
					

Página 1 de 2

CPTM	MEIO AMBIENTE				
	Linha	Data de Emissão			
Ficha de Manejo Ambiental (FMA) Área Ambiental Proteção e Vegetação - Vegetação Anore Isolada FMA AAPV-VL-A-1300-L-000001					
Área Gestora CPTM	Nº Contrato	Contratada	Representante da Contratada/Área Gestora da CPTM	Local	Elaborado por:
Chave Primária da Área de Meio Ambiente			Elemento de Monitoramento (Número)		
AAPV-VL-A-1300-L-000001			000001		
Área					
Condição Florestal			Família		
Nome Científico			Nome Popular		
Área de APP?	Raio do Copo		Volume Lenhoso		
Km/Posto	Via		Município		
Nome da Estação			Trecho e Sentido da Via (entre Estações)		
Coordenada Geográfica (Latitude e Longitude)					
Número do Contrato do Autor do Registro (PJ)		Nome do Autor do Registro (Pessoa Jurídica)		Nome do Autor do Registro (Pessoa Física)	
Data do Registro		Itens do Registro		Ocorre risco à operação dos trens?	
DAC Relacionado					
OHC Relacionado					
Observações Complementares					

Página 2 de 2

Figura 9 – Exemplo de Formulário de Manejo de Vegetação - FMV

Antes da implementação do Sistema CCA, ao final das fases de cadastramento e/ou manejo o agente ambiental transferia os dados dos formulários para um banco de dados local e o entregava, juntamente com os formulários, como parte do produto do trabalho.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A realização da atividade de poda das árvores, por exemplo, é executada ora por equipes operacionais da própria CPTM, ora por equipes terceirizadas, atuando em áreas distintas e, muitas vezes, em momentos diferentes.

Como os bancos de dados não eram unificados, e as frentes de trabalho são realizadas por operadores distintos, atuando em lugares opostos e em tempos diferentes, havia dispêndio excessivo de esforços no tratamento de dados, principalmente no momento de unir os resultados dos produtos entregues, além de falhas nos registros, como: duplicidade ou lacunas de cadastramento de árvores, incompletude de dados, incompatibilidade de arquivos, entre outros. Mesmo com o estabelecimento dos Programas Ambientais e respectivos Procedimentos padronizando as ações em campo, os bancos de dados acabavam entregues com problemas, pois não havia um banco único e acessível a todos. Havia, então, uma desconexão das ações e dos produtos.

A partir da implementação do Sistema CCA o banco de dados passa a ser único e acessível de qualquer lugar via web, por qualquer usuário (claro, com as devidas permissões). Os agentes ambientais, sejam do próprio corpo técnico da CPTM ou terceirizados, passaram a consultar e atualizar informações diretamente no banco de dados. A atualização dos dados continua sendo realizada a partir dos formulários FDC e FMV, porém, após o CCA, é executada com armazenamento em banco de dados único, acessível a todos, tanto em tempo real (online) como posterior a coleta da informação



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

(offline). A padronização da entrada de dados no banco através dos formulários viabilizou a elaboração da modelagem relacionada à gestão ambiental da vegetação.

Como já foi dito, a modelagem equivale ao "calcanhar de Aquiles", e para o adequado funcionamento do Sistema CCA em relação ao monitoramento das árvores isoladas foi necessário o desenvolvimento de uma modelagem sistêmica que sincronizasse os procedimentos dos programas ambientais de vegetação, o trabalho de campo, os atributos dos formulários FDC e FMV, os atributos do banco de dados geoespacial, os mapas (*Web Maps*) e os painéis (*Dashboards*) interativos. O encaixe e funcionamento simultâneo de todas estas camadas está ancorado na boa sincronização da modelagem realizada.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 10 – Exemplo de Sincronização de Modelagem entre Formulário, Banco de Dados, Painel de Indicador e Mapa

A parte do Sistema CCA dedicada ao tema vegetação, especificamente o módulo de compartilhamento web de dados geoespaciais (*Web GIS*), possibilitou a elaboração mapas web (*Web Maps*) dinâmicos e interativos. O *Web Map* principal do Sistema disponibiliza as árvores através de uma camada temática de dados. Como os dados exibidos são interativos, permite a visualização instantânea das informações cadastrais e de monitoramento de cada árvore, e o compartilhamento de documentos anexados a estas (ex.: os formulários FDC e FMV).

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

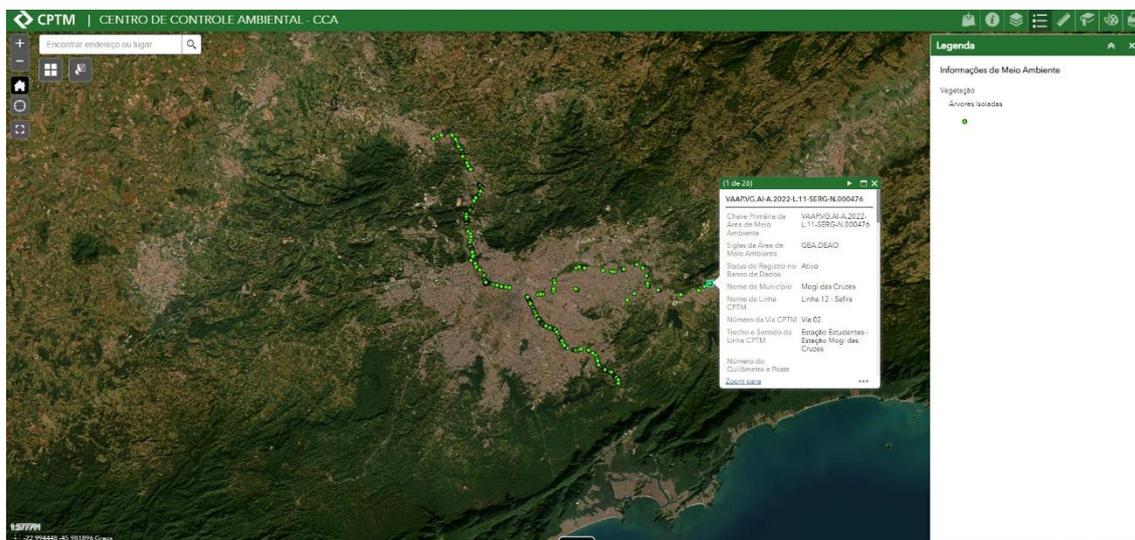


Figura 11 – Exemplo de Web Map: Vegetação - Árvore Isolada

Ainda na parte *Web GIS* dedicada à vegetação, o Sistema viabilizou a criação de painéis de indicadores de vegetação para o gerenciamento da evolução dos trabalhos relacionados as árvores isoladas. O acompanhamento, por exemplo, quantitativo no manejo das árvores é exibido no painel em tempo real e pode ser acessado por todos os agentes envolvidos (gerentes e técnicos da área de meio ambiente, operadores em campo etc.)

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 12 – Exemplo de *Dashboard*: Vegetação - Árvore Isolada

Em suma, o Sistema CCA viabilizou a integração dos trabalhos das equipes de campo e de escritório alocadas na gestão ambiental da vegetação, canalizando os dados de cadastramento e manejo arbóreo em um local único e de acesso universal. Dentre os muitos resultados colhidos vale destacar a expressiva redução de ocorrências de falhas no sistema operacional da companhia causadas por incidentes com árvores.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

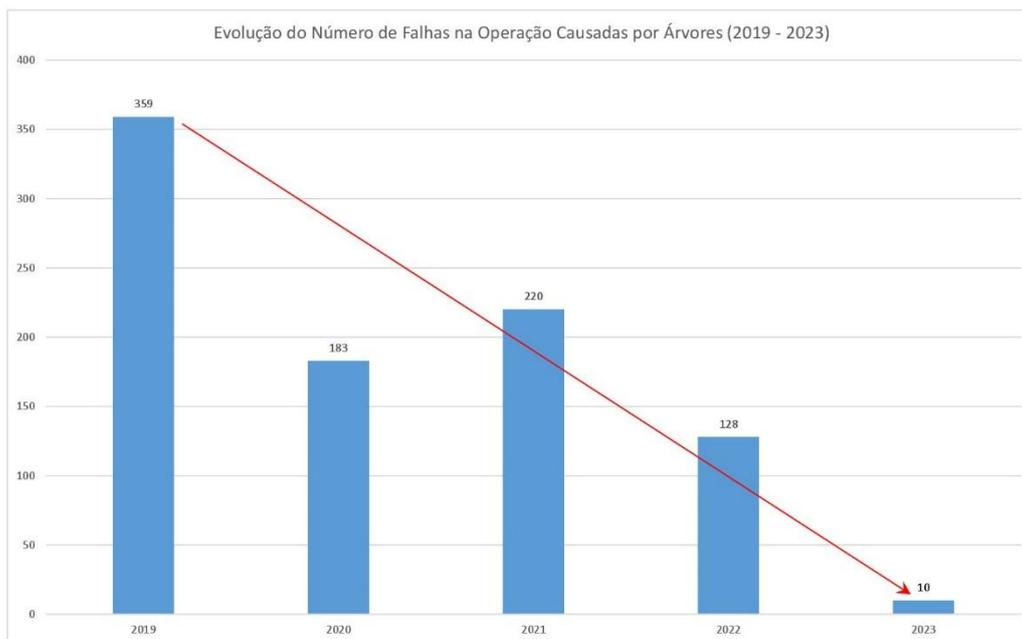


Figura 13 – Evolução do Número de Ocorrências/Falhas Causadas por Árvores (2019 - 2023)

A partir de análises geoespaciais correlacionando variáveis como altura, inclinação, distância da via mais próxima e condição fitossanitária foi possível determinar as áreas prioritárias para supressão arbórea, resultando numa diminuição drástica dos incidentes com vegetação.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

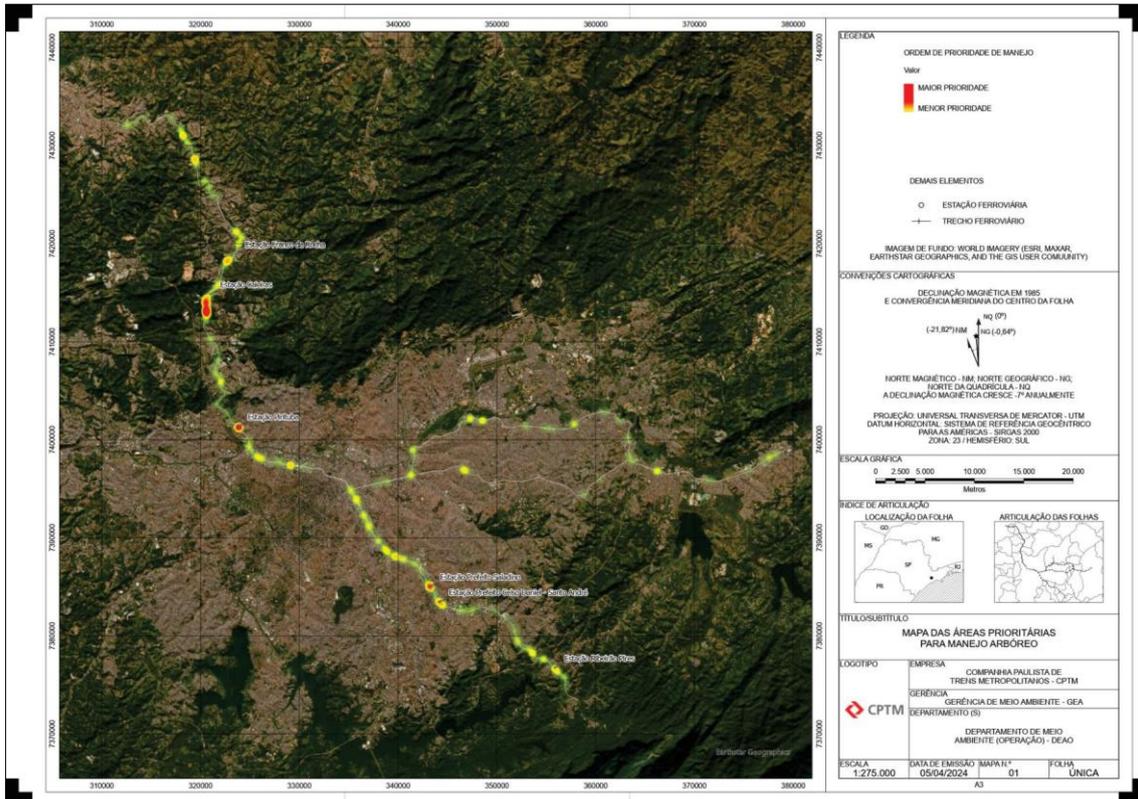


Figura 14 – Mapa das Áreas Prioritárias para Supressão Arbórea

Mesmo após eventos de chuvas intensas no verão de 2023/2024 que causaram estragos significativos em várias áreas partes da cidade de São Paulo - SP o número de falhas operacionais ocasionas por quedas de árvores foi zero nos domínios da CPTM, confirmando a eficácia da utilização do SIG na gestão ambiental das árvores e, consequentemente, a eficácia de sua utilização para prevenção de impactos ambientais.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CONCLUSÕES

De modo geral, pode-se dizer que a utilização do Sistema de Informação Geográfico - SIG como ferramenta de gestão ambiental da CPTM foi satisfatória e possibilitou a superação das dificuldades vinculadas aos problemas de supervisão ambiental vividos pelos agentes ambientais da companhia. A implementação do Centro de Controle Ambiental - CCA promoveu inúmeros benefícios além dos benefícios almejados inicialmente, superando expectativas.

Foram ultrapassados os desafios em relação a integração de análises do monitoramento ambiental. Com a unificação do armazenamento dos dados em um banco de dados único e de acesso universal desapareceram as incompatibilidades de unificação dos produtos. Soma-se a isso a adequada modelagem de dados entre as informações dos formulários (cadastramento e/ou monitoramento) e o banco de dados.

Por outro lado, a possibilidade de acesso e atualização dos dados do banco a partir de qualquer lugar da companhia e em tempo real viabilizou a realização de análises mais harmoniosas, promovendo um salto qualitativo dos resultados. Este salto também foi potencializado com a utilização de ferramentas do sistema como mapas (*Web Maps*) e painéis (*Dashboards*) interativos.

Não apenas a mitigação dos problemas foi aperfeiçoada, mas também a prevenção de impactos. A expressiva redução do número de interferências operacionais em função de



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

ocorrências com árvores demonstra a eficácia da ferramenta em questão, mesmo em cenários ambientais extremos como exposto no exemplo das chuvas ocorridas em São Paulo - SP.

Por consequência da eficácia tanto na mitigação quanto na prevenção obteve-se ainda a melhora de gastos de tempo, físico e financeiros na gestão dos problemas. O planejamento mais eficiente de incursões em campo, o dimensionamento e distribuição mais adequado de equipes, a definição mais eficaz da hierarquia de problemas a serem vencidos, por exemplo, contribuíram para a melhora da alocação de recursos como um todo.

Visto que os problemas expostos ao longo do trabalho estão associados a fenômenos ambientais globais e locais que podem afetar não apenas a Companhia Paulista de Trens Metropolitanos - CPTM, mas todo o setor metroferroviário e que os resultados obtidos com a implementação do CCA foram satisfatórios e muito importantes, sugere-se a utilização do SIG como ferramenta de gestão ambiental para subsidiar e completar as análises de monitoramento ambiental de empresas do setor.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Burrough, P.A.; McDonell, R.; **Principles of Geographical Information Systems**. Oxford, Oxford University Press, 1998.

Câmara, G.; Davis.C.; Monteiro, A.M.; D'Alge, J.C.; **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos, INPE, 2001 (on-line, 2a. edição, revista e ampliada).

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE; **Manuais Técnicos em Geociências: Acesso e Uso de Dados Geoespaciais**.

Almeida, N. V.; Silva, M. D.; **Geotecnologias e Meio Ambiente: Analisando uma Área de Proteção Ambiental**.

Companhia Paulista de Trens Metropolitanos - CPTM; **Diário Operacional**.

VALLE, A. SOARES, C.A.; FINOCCHIO, J. SILVA, L. **Fundamentos do Gerenciamento de Projetos**, Rio de Janeiro: FGV Editora, 2010.

VARGAS, Ricardo V. **Gerenciamento de Projetos: Estabelecendo Diferenciais Competitivos** 6a edição. Rio de Janeiro: Brasport: 2005.

VARGAS, Ricardo. **Manual Prático do Plano de Projeto – Utilizando o PMBOK Guide - 4th Ed.** – Brasport – 4ª Edição, 2009.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

KERZNER, Harold. **Gestão de Projeto: as Melhores Práticas**. Ed. Bookman. 822 pg. 2ª edição. 2006.

PMI. **Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos – Guia PMBOK** Quarta Edição – EUA: Project Management Institute, 2008