PENSANDO A

Política sobre Drogas

Projeto Cloacina: análise de esgoto para gerar estimativas temporais e espaciais do uso de drogas em cidades brasileiras em apoio às políticas nacionais de redução de oferta e demanda

Volume 19

UnB

SECRETARIA NACIONAL DE POLÍTICAS SOBRE DROGAS E GESTÃO DE ATIVOS

MINISTÉRIO DA JUSTIÇA E SEGURANÇA PÚBLICA

GOVERNO DO BRASIL
DO LADO DO POVO BRASILEIRO

Relatório 2025

Projeto Cloacina

Análise de esgotos para gerar estimativas temporais e espaciais do uso de drogas em cidades brasileiras em apoio às políticas nacionais de redução de oferta e demanda

SECRETARIA NACIONAL DE POLÍTICAS SOBRE DROGAS E GESTÃO DE ATIVOS
MINISTÉRIO DA JUSTIÇA E SEGURANÇA PÚBLICA
GOVERNO FEDERAL BRASIL UNIÃO E RECONSTRUÇÃO

Presidente da República

Luiz Inácio Lula da Silva

Ministro da Justiça e Segurança Pública

Wellington César Lima e Silva

Secretaria Nacional de Políticas sobre Drogas e Gestão de Ativos (SENAD)

Secretária: Marta Rodriguez de Assis Machado

Diretoria de Pesquisa, Avaliação e Gestão de Informações (DPAGI)

Diretora: Bárbara Caballero de Andrade

Coordenação Geral de Ensino e Pesquisa (CGEP)

Coordenadora Geral: Domitila Costa Cayres

Coordenação Geral de Monitoramento e Avaliação de Políticas Públicas (CGMAPP)

Coordenadora Geral substituta: Solange Leal

Equipe responsável

Coordenação

Fernando Fabriz Sodré: Universidade de Brasília (UnB)

Colaboradores locais

Hadassa de Souza Ramos Pontes Moura: Universidade de Brasília (UnB)

Luiz Eduardo Thans Gomes: Universidade de Brasília (UnB)

Imisi Michael Arowojolu: Universidade de Brasília (UnB)

Nickolas Valcarcel da Silva: Universidade de Brasília (UnB)

Antonio Pedro Nogueira Guimarães: Universidade de Brasília (UnB)

Fábio Marley de Sousa Nascimento: Universidade de Brasília (UnB)

Cristiane Arcangela Mendes Caldenhof: Universidade de Brasília (UnB)

Camila de Souza Martins Portela: Universidade de Brasília (UnB)

Colaboradores externos

Adriano Otávio Maldaner: Departamento de Polícia Federal

Cézar Silvino Gomes: Departamento de Polícia Federal

Alexanders Tadeu das Neves Belarmino: Departamento de Polícia Federal

Pedro Sérgio Fadini: Universidade Federal de São Carlos

Guilherme Martins Grosseli: Universidade Federal de São Carlos

Raimara de Souza Gomes: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Andreia Neves Fernandes: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Marco Tadeu Grassi: Universidade Federal do Paraná

Ramiro Gonçalves Etchepare: Universidade Federal do Paraná

Rafael Garrett Dolatto: Universidade Federal do Paraná

Cesar Rossas Mota Filho: Universidade Federal de Minas Gerais

Jandyson Machado Santos: Universidade Federal Rural de Pernambuco

Ana Flávia Barbosa de Oliveira: Universidade Federal Rural de Pernambuco

Rodrigo de Freitas Bueno: Universidade Federal do ABC

Emily Cintia Tossi de Araújo Costa: Universidade Federal do Maranhão

Raoni Batista dos Anjos: Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Gabriela Rodrigues Mendes Duarte: Universidade Federal de Goiás

André Bezerra dos Santos: Universidade Federal do Ceará

Enrico Mendes Saggioro: Fundação Oswaldo Cruz

Edson dos Anjos dos Santos: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Silvani Verruck: Universidade Federal de Santa Catarina

Ana Maria do Carmo Mota: Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal

Leandro da Silva Cavalcante: Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal

Michele Mendonça Fonseca: Companhia de Água e Esgotos da Paraíba

Valéria Correia Silva Abreu: Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte

Bartholomeu Siqueira Júnior: Companhia Pernambucana de Saneamento

Raul Oliveira da Rosa: Departamento Municipal de Água e Esgotos – Porto Alegre

Bárbara Zanicotti Leite: Companhia de Saneamento do Paraná

Monica Cristina de Assis Abílio: Serviço Autônomo de Água e Esgoto de São Carlos

Sara Regina de Almeida Freitas: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

Bruno Sidnei da Silva: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

Olendino Judith de Souza Moraes: Companhia de Saneamento de Minas Gerais

Karine Diniz Soares: Companhia de Saneamento de Minas Gerais

André Lermontov: Grupo Águas do Brasil - SAAB

Erione José Campelo do Nascimento: Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão

Daniella Cordeiro de L. B. de Franca: Companhia Saneamento de Goiás

Neurisangelo Freitas: Companhia de Água e Esgoto do Ceará

O estudo aqui apresentado foi realizado através de financiamento da Secretaria Nacional de Políticas sobre Drogas e Gestão de Ativos do Ministério da Justiça e Segurança Pública (SENAD/MJSP) por meio de Termo de Execução Descentralizada UnB/SENAD nº 04/2020.

Lista de Ilustrações

Figura 1. Características e respostas obtidas a partir da Epidemiologia Baseada no Esgoto.....14

Figura 2. Imagem de um dos vídeos disponibilizados pela coordenação do projeto para permitir o uso de amostradores Etsus 2000.....32

Figura 3. Esquema representativo da sequência analítica empregada para coleta, preparo e análise das amostras de esgoto. 36

Figura 4. Estruturas dos biomarcadores investigados no Projeto CLOACINA em 2025 43

Figura 5. Esquema de um sistema de espectrometria de massas em triplo quadrupolo.....44

Figura 6. Curva analítica para determinação de 6-acetilmorfina nas amostras de esgoto 46

Figura 7. Curva analítica para determinação de anfetamina nas amostras de esgoto 47

Figura 8. Curva analítica para determinação de metanfetamina nas amostras de esgoto 47

Figura 9. Curva analítica para determinação de MDMA nas amostras de esgoto.....47

Figura 10. Curva analítica para determinação de MDA nas amostras de esgoto.....47

Figura 11. Curva analítica para determinação de cetamina nas amostras de esgoto.....47

Figura 12. Curva analítica para determinação de cocaína nas amostras de esgoto.....48

Figura 13. Curva analítica para determinação de benzoilecgonina nas amostras de esgoto 48

Figura 14. Curva analítica para determinação de anidroecgonina metiléster nas amostras.....48

Figura 15. Curva analítica para determinação de cocaetileno nas amostras de esgoto 48

Figura 16. Curva analítica para determinação de fentanil nas amostras de esgoto 48

Figura 17. Curva analítica para determinação de carboxi-THC nas amostras de esgoto 49

Figura 18. Performance da equipe do Projeto Cloacina no exercício de calibração interlaboratorial promovido pela Rede SCORE em 2024. 52

Figura 19. Performance da equipe do Projeto Cloacina no exercício de calibração interlaboratorial promovido pela Rede SCORE em 2025.....52

Lista de Tabelas

Tabela 1. Características da epidemiologia baseada no esgoto em comparação aos métodos tradicionais 16

Tabela 2. Metas especificas, cronograma de execução e porcentagem de cumprimento 26

Tabela 3. Localidades investigadas no Projeto CLOACINA, ETEs participantes e seus acrônimos. 28

Tabela 4. Cidades investigadas, datas das campanhas amostrais em 2025, ETEs participantes, seus acrônimos de referência e demais dados. 33

Tabela 5. Biomarcadores do consumo de drogas e de hábitos da população avaliados em 2024 41

Tabela 6. Transições precursor-produto, tempo de retenção cromatográfico e parâmetros instrumentais envolvidos na análise de biomarcadores por espectrometria de massas. 45

Tabela 7. Estimativas para recuperação analítica, efeitos de matriz e eficiência do método empregado para análise das amostras de esgoto do Projeto CLOACINA. 50

Tabela 8. Andamento das campanhas amostrais e das etapas analíticas referentes ao ciclo de monitoramento de 2025 no âmbito do Projeto CLOACINA 55

Lista de Abreviaturas e Siglas

6-AM – 6-acetilmorfina
ABC – ABC, estação de tratamento de esgoto
ABC – Academia Brasileira de Ciências
AMP – Anfetamina, na sigla em inglês
ANDIFES – Associação Nacional dos Dirigentes das Instituições Federais de Ensino Superior
AQQUA – Grupo de Automação, Quimiometria e Química Ambiental
ARR – Arrudas, estação de tratamento de esgoto
ATU – Atuba, estação de tratamento de esgoto
BAL – Baldo, estação de tratamento de esgoto
BAR – Barueri, estação de tratamento de esgoto
BE – Benzoilecgonina
BEL – Belém, estação de tratamento de esgoto
BH – Belo Horizonte
CAB – Cabanga, estação de tratamento de esgoto
CGD – Campo Grande
CIMATEC – Campus Integrado de Manufatura e Tecnologia
CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CONFIES – Conselho Nacional das Fundações de Apoio às Instituições de Ensino Superior e de Pesquisa Científica e Tecnológica
COT – Cotinina
CoV – Coronavírus
COVID-19 – Corona Virus Disease 2019, na sigla em inglês
CWB – Curitiba
DF – Distrito Federal
EBE – Epidemiologia baseada em esgoto
EPC – Estação de pré-condicionamento, estação de tratamento de esgoto
ESI – Ionização por eletrospray, na sigla em inglês
ETE – Estação de tratamento de esgoto
EUDA – Agência de Drogas da União Europeia, na sigla em inglês
FAPEMAT – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso
FLO – Florianópolis
FOR – Fortaleza
GAM – Gama, estação de tratamento de esgoto
GFC – Filtro de fibra de vidro, na sigla em inglês
GOI – Goiânia
HRMS – Espectrometria de massas de alta resolução, na sigla em inglês
HSB – Hélio Seixo de Britto, estação de tratamento de esgoto
ICA – Icaraí, estação de tratamento de esgoto
IMB – Imbirissu, estação de tratamento de esgoto
JPA – João Pessoa
KET – Cetamina, na sigla em inglês
LAN – Los Angeles, estação de tratamento de esgoto
LC – Cromatografia líquida, na sigla em inglês
LC-MS/MS – Cromatografia líquida acoplada a espectrometria de massas em tandem
LCO –Lagoa da Conceição , estação de tratamento de esgoto
LENAD – Levantamento Nacional sobre o Uso de Álcool e Drogas pela População Brasileira
M – Massa molar
MAMP– Metanfetamina
MAN – Mangabeira, estação de tratamento de esgoto
MDA - 3,4-metilenodioxianfetamina
MDMA – 3,4-metilenodioximetanfetamina
MEL – Melchior, estação de tratamento de esgoto
MeOH – Metanol
METH – Metanfetamina, na sigla em inglês
MON – Monjolinho, estação de tratamento de esgoto
MRM – Monitoramento de reações múltiplas, na sigla em inglês
MS – Espectrometria de massas, na sigla em inglês
NA – Não analisada
NAT – Natal
NAV – Navegante, estação de tratamento de esgoto
NIT – Niterói
NMO – Novo Mundo, estação de tratamento de esgoto
NOR – Brasília Norte, estação de tratamento de esgoto
NSP – novas substâncias psicoativas
OBID – Observatório Brasileiro de Informações sobre Drogas
ONC – Onça, estação de tratamento de esgoto
pH – Escala numérica adimensional usada para especificar acidez ou basicidade
PLA – Planaltina, estação de tratamento de esgoto
PLANAD – Plano Nacional de Políticas sobre Drogas
POA – Porto Alegre
PVDF – Polifluoreto de vinilideno, na sigla em inglês
Q – Quadrupolo
Q_v – Vazão volumétrica
REC – Recife

RFO – Riacho Fundo, estação de tratamento de esgoto
RM – Região metropolitana
Sabesp - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SAR – Sarandi, estação de tratamento de esgoto
SAR – Sistema de Alerta Rápido
SARS – Síndrome respiratória aguda grave, na sigla em inglês
SBPC – Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência
SCa – São Carlos
SCORE – Sewage Analysis CORe group Europe
SENAD – Secretaria Nacional de Políticas sobre Drogas e Gestão de Ativos
SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SER – Serraria, estação de tratamento de esgoto
SLZ – São Luís
SML – São Miguel, estação de tratamento de esgoto
SPE – Extração em fase sólida, na sigla em inglês
SPO – São Paulo
SSO – São Sebastião, estação de tratamento de esgoto
SUL – Brasília Sul, estação de tratamento de esgoto
SUZ – Suzano, estação de tratamento de esgoto
TDAH - Transtorno do déficit de atenção com hiperatividade
TED – Termo de Execução Descentralizada
THC – Tetrahidrocanabinol
THC-COOH – 11-Nor-9-carboxitetrahidrocanabinol
TOC – Toc Toc, estação de tratamento de esgoto
UFMT – Universidade Federal de Mato Grosso
UnB – Universidade de Brasília
UNODC – Escritório das Nações Unidas sobre Drogas e Crime
UPLC – Cromatografia líquida de ultra eficiência, na sigla em inglês
VIN – Vinhais, estação de tratamento de esgoto

SUMÁRIO

1 Apresentação 11

1.1 O Abuso de Drogas na Sociedade Moderna 12

1.2 A Epidemiologia Baseada no Esgoto 13

1.3 O Projeto Cloacina 18

2 Contextualização 21

2.1 Objetivos Gerais 23

2.1.1 Objetivos Específicos 23

2.2 Resultados Esperados 24

2.3 Metas 26

3 Métodos Analíticos 30

3.1 Planejamento Amostral 31

3.2 Coleta de Amostras e Campanhas Amostrais 33

3.3 Preparo das Amostras de Esgoto 36

3.4 Análise das Amostras 40

3.5 Validação e Confiabilidade Analítica 49

3.6 Tratamento dos Dados e Estimativas de Carga e Consumo 54

4 Atividades planejadas para o ano de 2026 55

5 Considerações Finais 57

6 Referências 58

1 APRESENTAÇÃO

Substâncias psicoativas interferem diretamente na percepção da realidade e nos processamentos emocional e comportamental ao atuarem sobre o sistema nervoso central [1]. Embora tenham adquirido grande visibilidade nas últimas décadas, essas substâncias não constituem um fenômeno exclusivo da contemporaneidade. O contato humano com compostos capazes de alterar a consciência acompanha a história das sociedades desde tempos remotos [2].

Relatos históricos indicam, por exemplo, que já no século I a.C. chineses e indianos conheciam os efeitos alucinógenos provocados pela cannabis [3]. Evidências arqueológicas sugerem que a *Papaver somniferum*, planta da qual se extrai o ópio, foi domesticada há mais de oito mil anos no oeste mediterrâneo e passou a ser cultivada sistematicamente em diferentes regiões ao longo das eras [4].

Achados científicos recentes reforçam essa relação ancestral entre humanidade e substâncias psicoativas. Uma equipe multidisciplinar determinou a presença de efedrina, atropina e escopolamina em cabelos humanos encontrados em um recipiente ritual funerário da Idade do Bronze. Os alcaloides foram identificados por cromatografia líquida de ultra eficiência acoplada à espectrometria de massas de alta resolução (UPLC-HRMS), e a datação por carbono revelou que o recipiente é proveniente de aproximadamente 816 a.C. [5]. Esses registros ilustram que o uso de substâncias alteradoras da consciência é praticamente tão antigo quanto a própria humanidade.

Embora determinadas substâncias psicoativas possam apresentar aplicações legítimas e benefícios terapêuticos quando utilizadas de forma controlada e sob supervisão médica, como ocorre com alguns opioides empregados no manejo da dor moderada a intensa, ou com canabinoides utilizados em formulações medicinais, incluindo óleos à base de Cannabis, o uso não medicinal e abusivo dessas substâncias tem se consolidado como uma questão central nos debates contemporâneos em saúde pública [6,7].

De fato, ainda que existam evidências de efeitos clínicos modestos em algumas condições específicas, sobretudo relacionadas à dor crônica e a determinados transtornos neurológicos, tais benefícios não anulam os riscos substanciais associados ao consumo inadequado e ao desenvolvimento de dependência. O abuso de drogas representa um problema relevante para o indivíduo, uma vez que pode desencadear alterações neurobiológicas profundas, comprometendo circuitos cerebrais relacionados à recompensa, ao controle comportamental e à tomada de decisão, além de estar associado a prejuízos neurológicos, psiquiátricos e sociais de longo prazo [8,9].

Além das consequências individuais, o consumo abusivo de drogas constitui também um grave desafio coletivo, na medida em que fomenta e sustenta mercados ilícitos globais altamente lucrativos. O tráfico de drogas está historicamente associado ao

fortalecimento do crime organizado, à intensificação da criminalidade violenta, ao aumento da mortalidade, e à corrosão institucional por meio de corrupção e instabilidade social.

Atualmente, a drogadição, transtorno associado ao uso excessivo e compulsivo de drogas, configura-se como uma realidade mundial que afeta centenas de milhões de pessoas. Esse cenário, que vem recebendo crescente atenção científica e institucional, demanda ações transversais de políticas públicas, sobretudo nas áreas de saúde e segurança pública.

1.1 O Abuso de Drogas na Sociedade Moderna

De acordo com o Relatório Mundial sobre Drogas de 2025, elaborado pelo Escritório das Nações Unidas sobre Drogas e Crime (UNODC), o consumo global de drogas atingiu níveis historicamente elevados. Em 2023, aproximadamente 316 milhões de pessoas utilizaram alguma droga ilícita (excluindo álcool e tabaco), o que corresponde a cerca de 6% da população mundial entre 15 e 64 anos, representando um aumento expressivo em relação a 2013 [10]. A cannabis permanece como a substância ilícita mais consumida, com cerca de 244 milhões de usuários, seguida por opioides (61 milhões), anfetaminas (30,7 milhões), cocaína (25 milhões) e MDMA/ecstasy (21 milhões).

O relatório destaca ainda que mudanças na percepção social de risco, especialmente em relação à cannabis, têm contribuído para a ampliação do consumo, mesmo diante do aumento substancial da potência de seus derivados nas últimas décadas [10]. Paralelamente, crises econômicas, instabilidades geopolíticas e problemas de saúde mental são apontados como fatores que intensificam vulnerabilidades e ampliam o ciclo de uso problemático de drogas. Além disso, o tráfico internacional de drogas tem demonstrado elevada capacidade de adaptação, operando inclusive em contextos de crise. O UNODC ressalta que redes organizadas vêm incorporando tecnologias para facilitar vendas e distribuição em escala global, o que contribui para a continuidade e expansão dos mercados ilícitos.

As novas substâncias psicoativas (NPS, do inglês *new psychoactive substances*) continuam representando um desafio relevante. Atualmente, a preocupação principal deixou de ser apenas a variedade dessas substâncias, passando a envolver sua distribuição global e o impacto crescente em países de baixa e média renda, onde apreensões e circulação têm aumentado de forma expressiva [10].

No Brasil, a Secretaria Nacional de Políticas sobre Drogas (SENAD), vinculada ao Ministério da Justiça e Segurança Pública, é responsável pela aquisição e divulgação de dados epidemiológicos relacionados ao uso de substâncias psicoativas. Dentre as iniciativas apoiadas, destaca-se o financiamento do Levantamento Nacional sobre o Uso de Álcool e Drogas pela População Brasileira (LENAD).

Relatório Parcial CLOACINA - Quinto (13736017) SEI 23106.106457/2019-62 / pg. 12

Em dezembro de 2025, foi publicado o LENAD III, coordenado pela Universidade Federal de São Paulo (Unifesp/UNIAD), indicando um cenário de expansão do consumo de substâncias ilícitas no país, com aumento consistente tanto da experimentação quanto do uso regular em diferentes segmentos populacionais.

O LENAD III também disponibilizou cadernos temáticos específicos, como o dedicado ao álcool, que reforça a magnitude do consumo dessa substância no país, estimando dezenas de milhões de brasileiros expostos ao uso regular e aos efeitos adversos associados. De maneira geral, os levantamentos nacionais evidenciam que o consumo de drogas lícitas e ilícitas permanece como um importante desafio de saúde pública no Brasil, exigindo estratégias contínuas de monitoramento epidemiológico, prevenção, redução de danos e atuação integrada entre os setores de saúde, educação e segurança.

Diante desse contexto, torna-se fundamental o desenvolvimento de metodologias complementares capazes de estimar de forma mais objetiva e em tempo quase real a extensão do consumo de substâncias em populações, especialmente em cenários urbanos complexos. Nesse sentido, abordagens inovadoras de vigilância, como a epidemiologia baseada no esgoto, emergem como ferramentas estratégicas para o monitoramento moderno do uso de drogas e de seus impactos sociais e ambientais.

1.2 A Epidemiologia Baseada no Esgoto

A Epidemiologia Baseada em Esgoto (EBE) surge como uma estratégia complementar inovadora para a avaliação coletiva e anônima de exposições químicas em populações urbanas, permitindo estimativas empíricas, em tempo quase real, de padrões de consumo de substâncias psicoativas por meio da detecção e quantificação de biomarcadores em águas residuárias [11]. Diferentemente de abordagens epidemiológicas tradicionais, que dependem de autorrelato, registros clínicos ou dados policiais, a EBE baseia-se em evidências químicas objetivas, refletindo diretamente a excreção metabólica da população atendida por uma estação de tratamento de esgoto.

Um dos principais avanços proporcionados por essa abordagem é sua capacidade de acompanhar, com maior sensibilidade temporal e espacial, a dinâmica do mercado contemporâneo de drogas ilícitas e das novas substâncias psicoativas (NSPs). Esse mercado caracteriza-se por constantes modificações estruturais em compostos sintéticos, frequentemente desenvolvidas para contornar legislações e dificultar a identificação por sistemas convencionais de vigilância [12]. Estudos recentes reforçam que a EBE constitui uma ferramenta eficaz para fornecer dados empíricos e altamente responsivos em contextos nos quais métodos tradicionais apresentam limitações importantes, sobretudo diante de rápidas mudanças nos padrões de consumo [12]. Ademais, trata-se de um instrumento valioso para subsidiar a formulação e avaliação de

Relatório Parcial CLOACINA - Quinto (13736017) SEI 23106.106457/2019-62 / pg. 13

políticas públicas integradas em áreas como saúde, segurança, educação e redução de danos [13].

No Brasil, a EBE ainda representa um campo emergente, porém com avanços consistentes ao longo da última década. A metodologia já foi empregada com sucesso no monitoramento comunitário do consumo de cocaína no Distrito Federal [14,15], bem como em contextos associados a grandes eventos e aglomerações populacionais, como o Carnaval [16,17], o Carnatal [18], a Copa do Mundo [19] e as festividades globais de fim de ano [12,20]. Esses estudos demonstram a aplicabilidade da abordagem para detectar variações sazonais e episódicas no uso de substâncias em ambientes urbanos complexos.

Durante a pandemia de COVID-19, a EBE também se consolidou como ferramenta de vigilância epidemiológica ampliada, sendo aplicada ao monitoramento de fragmentos virais de SARS-CoV-2 em esgoto, evidenciando sua versatilidade para além do campo das drogas de abuso [21,22]. Esse caráter multifuncional reforça o potencial da EBE como componente estratégico de sistemas modernos de vigilância em saúde pública.

A Figura 1 ilustra o princípio central da EBE, destacando sua capacidade de promover respostas comunitárias quanto à exposição de populações a diferentes classes de substâncias químicas, incluindo drogas ilícitas, medicamentos controlados e NSPs. A abordagem baseia-se na quantificação de biomarcadores excretados em águas residuárias e na aplicação de modelos de retrocálculo que permitem estimar, em tempo quase real, o consumo coletivo ou a carga populacional associada a determinados compostos [23].

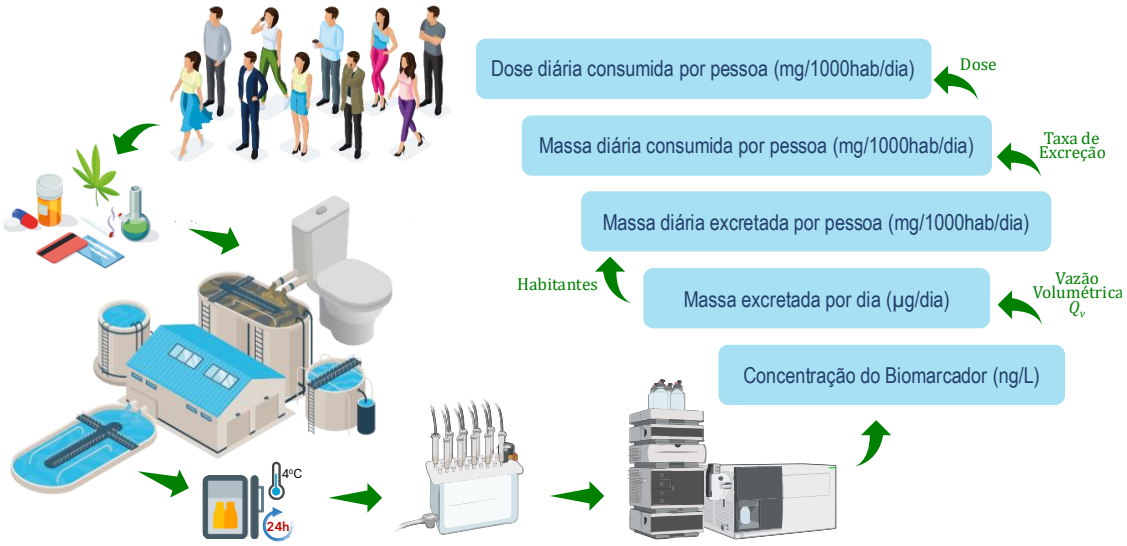

Figura 1. Características e respostas obtidas a partir da Epidemiologia Baseada no Esgoto

A premissa fundamental da EBE é que substâncias consumidas por indivíduos são parcialmente metabolizadas e excretadas, principalmente pela urina e fezes, sendo transportadas pelo sistema de esgotamento sanitário até estações de tratamento de águas residuárias. Dessa forma, o esgoto passa a representar uma matriz integrada, capaz de refletir, de maneira agregada, os padrões de consumo e exposição de toda a população atendida por uma determinada infraestrutura sanitária.

Conforme ilustrado na Figura 1, o processo inicia-se na comunidade, onde o consumo de drogas e outras substâncias resulta na geração de biomarcadores específicos, tais como metabólitos ou compostos parentais estáveis. Esses biomarcadores alcançam o esgoto doméstico e são conduzidos até a estação de tratamento, onde podem ser coletados de forma representativa. Frequentemente, empregam-se amostras compostas ao longo de 24 horas, de modo a capturar variações diurnas na carga dos biomarcadores, proporcionando estimativas mais robustas e representativas do consumo populacional médio diário.

Após a coleta, as amostras passam por etapas laboratoriais de preparo, incluindo o isolamento e concentração dos biomarcadores por técnicas como a extração em fase sólida, antes de serem submetidas à análise instrumental. A quantificação é geralmente realizada por cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas em tandem (LC-MS/MS), permitindo detectar biomarcadores em níveis de traços e determinar com elevada seletividade e sensibilidade a baixa concentração desses compostos no esgoto. Essa medida constitui o ponto inicial para a conversão de dados químicos em indicadores epidemiológicos.

A partir da concentração do biomarcador e da vazão volumétrica diária de esgoto que atravessa a estação, é possível calcular a carga total excretada por dia (massa excretada diária). Em seguida, ao normalizar essa carga pela população contribuinte (habitantes servidos), obtém-se a massa diária excretada por pessoa ou por 1000 habitantes, um indicador que permite comparações entre diferentes regiões e sistemas sanitários. Considerando fatores farmacocinéticos, como taxas de excreção humana e estabilidade dos metabólitos, essas estimativas podem ser retroconvertidas em valores de massa diária consumida e, finalmente, em doses diárias consumidas por pessoa (mg/1000 hab/dia). Assim, a EBE estabelece uma ponte entre medições químicas objetivas e inferências quantitativas sobre o consumo coletivo de drogas em tempo quase real.

Resultados gerados por essa estratégia já vêm sendo utilizados em diversos países para complementar informações produzidas por abordagens epidemiológicas convencionais, subsidiando discussões e intervenções em saúde pública e segurança, como ocorre nos países integrantes da União Europeia por meio do Observatório Europeu da Droga e da Toxicodependência [24].

A Tabela 1 apresenta uma comparação entre características dos métodos tradicionais e da EBE na produção de dados sobre consumo de drogas em sociedades modernas.

Relatório Parcial CLOACINA - Quinto (13736017) SEI 23106.106457/2019-62 / pg. 15

Tabela 1. Características da epidemiologia baseada no esgoto em comparação aos métodos tradicionais

Características do método	Métodos tradicionais	EBE
Suscetibilidade a vieses do respondente	Sim (–)	Não (+)
Resolução geográfica	Baixa (–)	Alta (+)
Estimativas em tempo real	Não (–)	Sim (+)
Custo do Estudo	Alto (–)	Relativamente reduzido após implantação (+)
Análises em retrospectiva	Não é possível (–)	Possível dependendo da forma de aquisição dos dados (+)
Dados sobre frequência e padrões de consumo	Sim (+)	Não (–)
Detecção de mudanças de padrão de consumo em curto período	Não é possível (–)	Possível (+)
Modo de uso da droga	Sim (+)	Possível, mas pouco conclusivo (±)
Características do usuário	Sim (+)	Não (–)
Dados sobre pureza da droga e adulterantes	Sim (+)	Possível (±)
Identificação de novas drogas	Possível, mas difícil (±)	Sim (+)

Apesar de seu caráter disruptivo e de sua elevada capacidade de resposta, a EBE deve ser compreendida como uma ferramenta complementar, e não substitutiva, aos métodos clássicos. O uso do esgoto como ferramenta epidemiológica não intrusiva configura-se como uma alternativa empírica, objetiva e anonimizada para estimar a magnitude da exposição de uma população às drogas ilícitas e de abuso, preservando a identidade individual e reduzindo vieses associados ao autorrelato. Assim, oferece evidências adicionais e independentes que fortalecem sistemas integrados de monitoramento e tomada de decisão.

Na Tabela 1 é possível observar que tanto as abordagens tradicionais quanto a EBE oferecem contribuições distintas e complementares, sendo a EBE particularmente relevante por fornecer estimativas empíricas e de alta resolução, enquanto os métodos tradicionais permanecem fundamentais para caracterizações individuais e comportamentais.

Um dos principais desafios dos métodos tradicionais, como questionários populacionais, entrevistas clínicas ou autorrelato, é sua suscetibilidade a vieses do respondente. Aspectos como subnotificação, estigma social, medo de consequências legais ou simplesmente falhas de memória podem comprometer a confiabilidade das informações

obtidas. Em contrapartida, a EBE não depende da participação individual nem de respostas declaradas, pois se baseia em evidências químicas objetivas, reduzindo significativamente esse tipo de viés.

Outra diferença importante refere-se à resolução geográfica. Estudos tradicionais costumam apresentar baixa resolução espacial, uma vez que dependem de amostragens limitadas, abrangência regional ampla ou extrapolações estatísticas. A EBE, por sua vez, pode oferecer elevada resolução geográfica, pois as amostras de esgoto refletem diretamente populações específicas atendidas por determinadas estações de tratamento, permitindo comparações entre cidades, regiões metropolitanas ou até mesmo áreas intraurbanas.

Em termos de temporalidade, métodos tradicionais raramente fornecem estimativas em tempo real. Levantamentos populacionais e estudos clínicos demandam longos períodos de coleta, processamento e análise, resultando frequentemente em dados defasados. A EBE, ao contrário, permite estimativas quase em tempo real, já que amostras podem ser coletadas diariamente ou semanalmente, possibilitando monitoramento contínuo e detecção rápida de tendências emergentes.

No que se refere ao custo, estudos tradicionais podem envolver despesas elevadas associadas à logística de entrevistas, grandes amostragens, infraestrutura operacional e análises estatísticas complexas. A EBE apresenta um custo relativamente reduzido após sua implantação, especialmente quando já existe infraestrutura analítica instalada, tornando-se uma alternativa eficiente para monitoramento recorrente em larga escala.

A tabela também destaca a possibilidade de análises retrospectivas. Métodos tradicionais geralmente não permitem reavaliação retroativa, pois dependem de informações declaradas em momentos específicos. Já a EBE pode possibilitar análises retrospectivas caso amostras sejam armazenadas adequadamente ou dados históricos sejam preservados, permitindo reconstruções temporais e comparações ao longo de anos. Por outro lado, métodos tradicionais apresentam vantagens importantes ao fornecer dados sobre frequência individual de uso e padrões comportamentais, incluindo contextos de consumo, percepção de risco e regularidade de uso. A EBE não oferece diretamente esse tipo de detalhe, uma vez que gera estimativas agregadas de consumo populacional, sem identificar hábitos individuais ou frequência de uso em subgrupos específicos.

Uma contribuição particularmente forte da EBE é sua capacidade de detectar mudanças rápidas no padrão de consumo em curto período, algo que métodos tradicionais dificilmente capturam devido à baixa frequência de levantamentos epidemiológicos. A EBE consegue identificar variações associadas a eventos específicos, crises sociais ou mudanças no mercado ilícito, fornecendo dados altamente responsivos.

Quanto ao modo de uso da droga (por exemplo, via oral, intranasal ou fumada), métodos tradicionais conseguem obter essas informações por meio de entrevistas e autorrelatos,

enquanto a EBE pode apenas oferecer inferências indiretas, frequentemente pouco conclusivas, limitadas pela interpretação dos biomarcadores disponíveis. De forma semelhante, características individuais do usuário, como idade, gênero, escolaridade ou perfil socioeconômico, são acessíveis apenas por métodos tradicionais, uma vez que a EBE preserva o anonimato e não permite segmentação demográfica direta.

No que tange à pureza da droga e à presença de adulterantes, dados tradicionais podem fornecer informações indiretas por apreensões policiais e análises forenses. A EBE também pode detectar certos adulterantes ou compostos associados, mas essa capacidade ainda é considerada parcial e dependente de avanços metodológicos e da estabilidade desses marcadores no esgoto. Por outro lado, a identificação de novas drogas representa um ponto estratégico da EBE. Enquanto métodos tradicionais podem reconhecer novas substâncias apenas de forma lenta e dificultosa, a vigilância química em esgoto permite detectar rapidamente a circulação de NPS, oferecendo suporte técnico para sistemas de alerta precoce e políticas de resposta.

Finalmente, outro aspecto estratégico da EBE é sua aplicabilidade como ferramenta de avaliação de políticas públicas. As estimativas populacionais obtidas podem subsidiar decisões em saúde, segurança e educação, permitindo monitorar o impacto de intervenções preventivas, campanhas de redução de danos, alterações legislativas ou ações repressivas sobre o consumo comunitário. Dessa forma, a EBE contribui para a construção de respostas integradas e baseadas em evidências, fortalecendo sistemas modernos de vigilância epidemiológica.

1.3 O Projeto Cloacina

A aplicação da EBE apresenta particular relevância estratégica para o Brasil, onde a produção de dados epidemiológicos sobre o consumo de drogas ainda depende majoritariamente de levantamentos populacionais complexos, pouco frequentes e realizados em intervalos longos. Embora estudos como o LENAD constituam referências fundamentais, a periodicidade limitada desses censos e a ausência de sistemas contínuos de monitoramento dificultam a identificação rápida de mudanças no padrão de consumo e a avaliação de intervenções públicas. Assim, a EBE surge como uma abordagem inovadora no cenário nacional, ao possibilitar estimativas empíricas sobre a exposição comunitária a drogas ilícitas e substâncias controladas, complementando os métodos tradicionais.

No Distrito Federal, experiências pioneiras desenvolvidas desde 2010, em escala piloto, demonstraram a viabilidade técnica e o elevado potencial dessa metodologia para estimar padrões populacionais de consumo e orientar discussões intersetoriais em saúde e segurança pública. A consolidação desse conhecimento prévio e sua expansão para

outras regiões brasileiras motivaram a concepção de uma iniciativa estruturada em escala nacional: o Projeto CLOACINA.

O Projeto CLOACINA recebeu o título "*Análise de esgotos para gerar estimativas temporais e espaciais do uso de drogas em cidades brasileiras em apoio às políticas nacionais de redução de oferta e demanda*". Seu objetivo central é estimar o grau de exposição de populações urbanas a drogas ilícitas e de abuso por meio da análise química de esgotos domésticos de cidades e regiões metropolitanas brasileiras, em diferentes escalas temporais e espaciais. Trata-se de uma iniciativa desenvolvida em consonância com as diretrizes nacionais de redução de oferta e demanda coordenadas pela Secretaria Nacional de Políticas sobre Drogas e Gestão de Ativos (SENAD), vinculada ao Ministério da Justiça e Segurança Pública, instituição financiadora do projeto.

A experiência prévia adquirida ao longo de anos de estudos conduzidos no Distrito Federal serviu como base científica e metodológica para a ampliação EBE a um contexto nacional. Essa expansão permitiu consolidar uma abordagem empírica e objetiva, contribuindo para ampliar o entendimento sobre padrões populacionais de uso e sobre elementos associados aos mercados ilícitos de substâncias controladas.

O nome do projeto inspira-se em uma referência histórica e simbólica: Cloacina, divindade associada à purificação e ao sistema de esgotos da Roma Antiga, especialmente à Cloaca Máxima, uma das primeiras grandes infraestruturas sanitárias urbanas. A chamada Vênus Cloacina representava, nesse contexto, a proteção das cidades contra os males decorrentes da vida urbana e da insalubridade. De maneira análoga, o Projeto CLOACINA propõe-se a utilizar o esgoto como uma matriz moderna de vigilância coletiva, capaz de refletir padrões contemporâneos de exposição populacional a substâncias psicoativas.

O Projeto Cloacina está alinhado às diretrizes do Plano Nacional de Políticas sobre Drogas (PLANAD), o mais recente instrumento estratégico de implementação da política sobre drogas no Brasil, estabelecendo objetivos estratégicos, metas e compromissos com prazos definidos para o enfrentamento integrado dos problemas relacionados ao consumo, ao tráfico e à produção não autorizada de substâncias psicoativas. O PLANAD busca conferir concretude à ação governamental por meio da articulação intersetorial e interfederativa entre União, estados, Distrito Federal e municípios, organizando suas iniciativas em eixos estruturantes que incluem prevenção, tratamento e reinserção social, redução da oferta, pesquisa e avaliação, além de governança e integração institucional. Nesse contexto, o plano contempla ações de segurança pública, defesa e inteligência, regulação de substâncias controladas e precursoras, repressão à produção ilícita, combate ao tráfico e à lavagem de dinheiro, bem como o fortalecimento de mecanismos permanentes de monitoramento e avaliação das políticas públicas sobre drogas no país.

No âmbito dessas iniciativas, o PLANAD reconhece explicitamente o Projeto CLOACINA como uma ação estruturante vinculada ao Objetivo Estratégico 6, dedicado à

Relatório Parcial CLOACINA - Quinto (13736017) SEI 23106.106457/2019-62 / pg. 19

implementação de projetos piloto e estratégias interinstitucionais voltadas à prevenção e ao enfrentamento do narcotráfico e da violência. Nesse cenário, a EBE destaca-se como uma ferramenta útil, conveniente e oportuna para subsidiar a execução interinstitucional de políticas públicas sobre drogas.

Por possuir dimensões nacionais, o Projeto CLOACINA oferece condições singulares para contribuir diretamente com as diretrizes da PLANAD, ao permitir a obtenção de informações geolocalizadas sobre substâncias controladas e drogas ilícitas em esgotos domésticos. Essa capacidade possibilita direcionar de forma mais eficiente ações relacionadas à repressão da produção, manipulação e circulação de drogas, bem como apoiar a identificação de tendências emergentes associadas ao mercado ilícito.

Uma das frentes centrais do projeto consiste em fornecer não apenas dados sobre a dinâmica do consumo de diferentes drogas, mas também evidências químicas que podem indicar possíveis regiões de manipulação ou transformação de substâncias. Exemplos incluem a distinção entre cocaína consumida na forma de cloridrato (pó) ou base livre (crack), bem como a identificação de drogas sintéticas e novas substâncias psicoativas. Essas informações possuem elevado potencial de integração com plataformas nacionais de vigilância, podendo ser disponibilizadas por meio do Observatório Brasileiro de Informações sobre Drogas (OBID) e subsidiar mecanismos estratégicos como o Sistema de Alerta Rápido (SAR), também em desenvolvimento no âmbito da SENAD.

Assim, a ambição do Projeto CLOACINA é utilizar a análise química do esgoto para estimar o consumo populacional de drogas ilícitas e de abuso, contribuindo para acessar, com maior objetividade, a exposição de diferentes regiões do Brasil a substâncias psicoativas. Além disso, o projeto apresenta potencial significativo para avaliar o impacto de ações de redução de oferta, como operações policiais, apreensões, estratégias de patrulhamento e investigações de repressão qualificada ao tráfico.

O projeto foi idealizado de forma estruturada e gradual. O primeiro ano de execução foi dedicado à adequação de espaço físico laboratorial, aquisição e instalação de equipamentos analíticos, seleção de estudantes e bolsistas, bem como ao treinamento da equipe. Essas etapas, embora concentradas inicialmente, permanecem como componentes permanentes ao longo da execução, especialmente no que se refere à formação continuada de recursos humanos e à incorporação de novos estudantes e pesquisadores às atividades.

No segundo ano, foi iniciado o monitoramento de águas residuárias de cinco cidades brasileiras além do Distrito Federal. As campanhas amostrais têm sido gerenciadas pela coordenação do projeto e executadas por meio de colaborações com pesquisadores e grupos de pesquisas locais, notadamente em Instituições de Ensino Superior. Nos anos seguintes, o número de cidades monitoradas foi gradativamente ampliado e passaram a ser avaliadas em periodicidade anual, considerando aspectos operacionais fundamentais

para a implementação da EBE em escala nacional, como articulação com companhias de saneamento, acesso às estações de tratamento de esgoto e disponibilidade de informações estruturantes, incluindo a dimensão da rede de esgotamento sanitário, a população atendida e a vazão volumétrica afluente durante o período amostral.

Mais detalhes sobre a estrutura do projeto, as cidades e regiões metropolitanas investigadas, as campanhas amostrais realizadas e os métodos analíticos e epidemiológicos empregados serão apresentados e discutidos ao longo deste relatório, evidenciando o potencial da Epidemiologia Baseada em Esgoto como ferramenta estratégica de apoio à formulação e avaliação de ações nacionais de redução de demanda e de oferta.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO

Neste Quinto Relatório Anual do Projeto CLOACINA são apresentadas as atividades desenvolvidas durante o ano de 2025, mais especificamente entre os meses 49 e 60 de execução do projeto. Conforme previsto no plano de trabalho original, o projeto foi inicialmente concebido para ser executado ao longo de 60 meses. Entretanto, em função de intercorrências técnicas e administrativas de natureza imprevisível, bem como da necessidade de assegurar o cumprimento integral dos objetivos pactuados, foi solicitada e encaminhada a prorrogação de sua vigência por mais 12 meses, totalizando 72 meses de execução.

Deste a formalização do Termo de Execução Descentralizada (TED) UnB/SENAD nº 004/2020, o Projeto CLOACINA tem contribuído substancialmente para o avanço da EBE no Brasil, possibilitando a estimativa do consumo de drogas ilícitas em cidades e regiões metropolitanas sob diferentes escalas temporais e espaciais. Até o ano de 2024, foram investigadas 13 regiões, gerando resultados relevantes para iniciativas estratégicas da SENAD, como o OBID e o SAR. O projeto integra ainda a rede internacional SCORE, tendo seus resultados incorporados ao painel interativo "*Wastewater analysis and drugs: a European multi-city study*", em parceria com a Agência de Drogas da União Europeia (EUDA). Além disso, o Projeto CLOACINA tem impactado positivamente ações de pesquisa, ensino e extensão, destacando-se a consolidação de uma ampla rede de colaboradores em diferentes regiões do país, o fortalecimento da estratégia de EBE em âmbito nacional e a participação em exercícios internacionais de calibração interlaboratorial, contribuindo para a formação de recursos humanos em diferentes níveis acadêmicos.

Diante desses avanços e considerando a continuidade das metas estabelecidas, solicitou-se a prorrogação do TED nº 004/2020 por 12 meses adicionais, em conformidade com o

Decreto nº 10.426, de 16 de julho de 2020, que prevê, em seu Art. 10º, § 1º, Inciso II, item c, a possibilidade excepcional de prorrogação em casos de paralisação ou atraso decorrentes de caso fortuito, força maior ou interferências imprevistas.

No quinto ano de execução, estava prevista a inclusão de cinco novas cidades e regiões metropolitanas brasileiras, com vistas ao cumprimento integral dos objetivos propostos, em especial a produção de estimativas de consumo de drogas ilícitas em um total de 18 cidades e regiões metropolitanas, incluindo o Distrito Federal. Contudo, recentemente, a equipe do projeto enfrentou dificuldades operacionais que culminaram na paralisação de atividades laboratoriais essenciais, comprometendo o cronograma inicialmente pactuado e ocasionando atrasos na entrega dos produtos previstos para 2025.

As análises químicas do projeto têm sido realizadas majoritariamente em um equipamento de cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas em triplo quadrupolo (LC-MS/MS), marca Agilent, adquirido no início do projeto. Este sistema analítico é fundamental para a quantificação de drogas e metabólitos em amostras de esgoto, bem como para a implementação, validação e ampliação de metodologias analíticas e para a participação em exercícios internacionais de calibração interlaboratorial. No início de 2025, o equipamento passou a apresentar instabilidades técnicas que culminaram em sua completa paralisação por cerca de três meses. Simultaneamente, o módulo gerador de nitrogênio, marca Peak, também apresentou falhas, prolongando o período de inoperabilidade até julho de 2025. Esse episódio gerou um represamento expressivo das atividades laboratoriais, atrasando o início das campanhas amostrais originalmente previstas para iniciarem à partir de agosto e exigindo seu deslocamento para outubro, novembro e, em alguns casos, dezembro de 2025, com impactos diretos na geração e validação dos resultados.

Ciente dos riscos associados à dependência de um único sistema analítico, a equipe solicitou e obteve aprovação da SENAD, no contexto do 4º Apostilamento, para aquisição de um outro equipamento LC-MS/MS de *back up*, marca Waters, ainda no início de 2024. Embora essa aquisição tivesse como objetivo mitigar riscos de interrupção e ampliar a robustez da infraestrutura do projeto, o processo de importação foi prejudicado por outros fatores fortuitos externos à capacidade de gerenciamento da equipe.

O pedido de compra do sistema LC-MS/MS Waters foi protocolado junto à FINATEC, Fundação de Apoio que administra os recursos financeiros do Projeto, em abril de 2024. Após ajustes e negociações, o processo foi lançado em julho de 2024, porém suspenso devido ao indeferimento da licença de importação pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), em virtude do esgotamento da cota anual federal destinada à importação de equipamentos para pesquisa com isenções fiscais. Em 2024, a cota inicialmente concedida ao CNPq foi inferior à dos anos anteriores, tendo sido integralmente consumida ainda em julho, impossibilitando a continuidade de diversos processos de importação destinados à pesquisa nacional.

Nesse contexto, a FINATEC ficou impedida de prosseguir com a importação até o restabelecimento da cota governamental. Apesar de manifestações institucionais relevantes realizadas por entidades científicas nacionais, como o Conselho Nacional das Fundações de Apoio às Instituições de Ensino Superior e de Pesquisa Científica e Tecnológica (CONFIES), a Academia Brasileira de Ciências (ABC), a Associação Nacional dos Dirigentes das Instituições Federais de Ensino Superior (ANDIFES) e a Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), nenhuma delas logrou êxito em viabilizar complementação imediata da cota. O processo de compra do novo equipamento Waters foi então retomado apenas em janeiro de 2025, após o restabelecimento do sistema, e os itens chegaram à Universidade de Brasília somente em maio de 2025. A instalação e o treinamento foram realizados entre julho e setembro de 2025.

A paralisação total das atividades laboratoriais, associada à impossibilidade temporária de utilização de um equipamento de *back up*, provocou atrasos inevitáveis na execução das análises e no cumprimento do cronograma originalmente previsto para 2025. Diversas campanhas e resultados permaneceram represados, sendo retomados apenas nos últimos meses a que se refere o relatório.

Diante dos impactos altamente positivos do Projeto CLOACINA, de sua relevância estratégica para a SENAD e para o PLANAD, e das interferências imprevistas acima descritas, foi aprovada a prorrogação do TED nº 004/2020 por mais 12 meses, totalizando 72 meses de execução, sem necessidade de aporte financeiro adicional. Essa extensão, até novembro de 2026, permitirá a realização das campanhas amostrais pendentes, a ampliação das análises nas cidades investigadas e o aprofundamento dos resultados previstos, assegurando o cumprimento integral dos objetivos e metas pactuados.

2.1 Objetivos Gerais

O Projeto CLOACINA busca estimar o grau de exposição de populações a drogas via análise de esgotos em cidades e regiões metropolitanas relevantes do Brasil, sob diferentes escalas temporais e espaciais, em consonância com as políticas de redução de demanda coordenadas pela SENAD. Em conformidade com o Plano de Trabalho, uma série de objetivos específicos, destacados abaixo, foram estabelecidos de modo a garantir o cumprimento das atividades previstas.

2.1.1 Objetivos Específicos

De maneira geral, os objetivos específicos do Projeto CLOACINA foram estruturados para assegurar, de forma integrada, o cumprimento das atividades previstas e a consolidação da EBE no Brasil. Eles contemplam desde o fortalecimento da infraestrutura analítica e da capacitação de recursos humanos, até a geração sistemática de estimativas populacionais de consumo de drogas em diferentes regiões metropolitanas. Além disso,

ao propor a criação de rotinas permanentes de monitoramento, bancos de dados nacionais e redes colaborativas, o projeto busca garantir não apenas a produção de resultados inéditos, mas também sua sustentabilidade, continuidade, aplicabilidade institucional e relevância estratégica para o apoio a políticas públicas sobre drogas. São eles:

- Fomentar a criação de infraestrutura laboratorial situada no Instituto de Química da Universidade de Brasília e voltada à quantificação de drogas e metabólitos em esgoto

- Estimar o consumo de drogas cocaínicas, anfetamínicas e canabinoides, além de outras substâncias indicadoras em diferentes regiões metropolitanas do Brasil

- Estabelecer, ao fim do Projeto, rotina analítica para estimar o consumo de drogas em 18 regiões metropolitanas brasileiras

- Oferecer um método empírico para monitorar o consumo de drogas que complemente os resultados gerados pelos mecanismos atuais de monitoramento

- Criar um banco de dados sobre o consumo de diferentes drogas em cidades regiões metropolitanas relevantes do Brasil

- Estabelecer uma rede nacional e internacional de pesquisadores que possam colaborar com o projeto, bem como promover e participar de encontros científicos

2.2 Resultados Esperados

De modo geral, os resultados esperados do Projeto CLOACINA refletem seu caráter pioneiro e estratégico ao integrar química analítica, vigilância epidemiológica e políticas públicas sobre drogas em escala nacional. Contemplam tanto a ampliação do monitoramento do consumo populacional em regiões metropolitanas brasileiras quanto o fortalecimento da capacidade do projeto em detectar tendências emergentes, subsidiar ações de redução de oferta e avaliar, de forma empírica, o impacto de intervenções institucionais.

Além disso, os resultados esperados incluem a consolidação de infraestrutura laboratorial, o aprimoramento metodológico das estimativas epidemiológicas e a formação de recursos humanos altamente qualificados, contribuindo para posicionar o Brasil como referência internacional na área. Cabe destacar que o quinto resultado esperado, referente à investigação de amostras de esgoto e outras matrizes de interesse quanto à presença de drogas, metabólitos e substâncias associadas, foi incorporado

posteriormente, no contexto do Termo Aditivo de prorrogação do projeto, ampliando o escopo analítico e fortalecendo ainda mais a capacidade de geração de evidências para a SENAD. Os Resultados Esperados do projeto são listados abaixo:

- Estimar o perfil de consumo de drogas ilícitas e de abuso nas principais regiões metropolitanas do Brasil de modo que, ao final do projeto, ao menos 18 regiões metropolitanas brasileiras façam parte do rol de locais investigados.

- Utilizar a análise do esgoto para estimar o consumo de drogas, detectar possíveis áreas voltadas à manipulação de drogas, detectar novas drogas e, possivelmente, dimensionar o impacto de ações policiais (operações, apreensões, patrulhamentos e investigações) sobre a oferta e o consumo de drogas.

- Subsidiar um esforço mais concentrado na redução da oferta em locais identificados como prováveis áreas de distribuição, bem como avaliar o resultado das políticas de redução da oferta realizadas nesses territórios.

- Consolidar a ferramenta via aprimoramentos de dados relacionados ao cálculo das estimativas, tais como o número de habitantes atendidos, fatores de correção e estabilidade de analitos.

- Investigar amostras de esgoto e outras amostras de interesse quanto à presença de drogas, metabólitos e substâncias relacionadas

- Construção de infraestrutura laboratorial nas dependências do Laboratório do Grupo de Automação, Quimiometria e Química Ambiental do Instituto de Química da UnB

- Formar recursos humanos com capacidade científica avançada e fortalecer a linha de pesquisa dedicada à química forense e ambiental na UnB, aumentando sua capacidade de fornecimento de dados necessários para a formulação, implementação e a avaliação de políticas públicas sobre drogas.

- Estruturar o Brasil como referência na área de análise de esgoto para fins forenses e promover condições para internacionalização.

- Promover condições para a continuidade do processo no futuro, após os 5 anos do projeto, garantindo um fluxo contínuo de informações de interesse da SENAD.

2.3 Metas

A Tabela 2 traz a relação de Metas do Projeto e suas porcentagens de cumprimento ao longo dos seis anos de execução das atividades propostas, período este que contempla os meses inicialmente previstos no projeto (1 a 60), bem como as atividades programadas em função do Termo Aditivo de prorrogação (meses 61 a 72).

Tabela 2. Metas especificas, cronograma de execução e porcentagem de cumprimento

Metas		Metas específicas	Meses	Cumprimento
1	Criação de infraestrutura laboratorial situada no Instituto de Química da UnB e voltada à quantificação de drogas e metabólitos em esgoto	a) Adequação de infraestrutura laboratorial	1 a 6 dez/20 a mai/21	100%
		b) Aquisição e instalação de equipamentos	7 a 72 jun/21 a nov/26	90% No prazo
		c) Seleção de bolsistas e implementação de rotina analítica	9 a 15 ago/21 a fev/22	100%
2	Estimar o consumo de drogas cocaínicas, anfetamínicas e canabinoides, além de outras substâncias indicadoras, em 18 cidades e regiões metropolitanas do Brasil.	a) Coleta de amostras em 5 RM brasileiras + DF	13 a 24 dez/21 a nov/22	100%
		b) Coleta de amostras em 8 RM brasileiras + DF	25 a 36 dez/22 a nov/23	100%
		c) Coleta de amostras em 12 RM brasileiras + DF	37 a 48 dez/23 a nov/24	100%
		d) Coleta de amostras em 17 RM brasileiras + DF	49 a 72 dez/24 a nov/26	80% No prazo
3	Oferecer um método empírico e complementar para monitorar o consumo de drogas	Aprimoramento e atualização de métodos	13 a 72 dez/21 a nov/26	85% No prazo
4	Criar um banco de dados sobre o consumo de drogas no Brasil e estabelecer redes, nacional e internacional, de colaboradores	Elaboração de relatórios parciais e demais publicações	6 a 72 mai/21 a nov/26	90% No prazo

UnB: Universidade de Brasília, RM: Região Metropolitana, DF: Distrito Federal

Na Tabela 2, observa-se que a maioria das metas e submetas originalmente previstas já foi cumprida em sua totalidade. Algumas delas, contudo, possuem caráter continuado e serão plenamente consolidadas apenas ao final do projeto, como a aquisição e instalação de equipamentos, o aprimoramento e atualização de métodos analíticos e a elaboração de relatórios parciais e demais publicações técnico-científicas.

Relatório Parcial CLOACINA - Quinto (13736017) SEI 23106.106457/2019-62 / pg. 26

Dessa forma, este relatório tem como foco principal descrever as atividades desenvolvidas em cumprimento à Meta 2 do projeto, ou seja, a estimativa do consumo de drogas cocaínicas, anfetamínicas e canabinoides, bem como de outras substâncias indicadoras, em 18 cidades e regiões metropolitanas do Brasil. O destaque, neste período, recai especialmente sobre o último subitem referente à coleta de Graças ao Termo Aditivo que autorizou a prorrogação do Projeto CLOACINA, essa sub-meta deverá ser finalizada até o mês 72 de execução, ou seja, até novembro de 2026. Tal necessidade reflete o período adicional pleiteado para cumprimento integral das atividades, considerando as intercorrências anteriormente apresentadas, que culminaram na indisponibilidade dos dois sistemas LC-MS/MS empregados para as análises químicas das amostras de esgoto e na paralisação das atividades laboratoriais até agosto de 2025, com retomada das campanhas amostrais apenas a partir de outubro do mesmo ano.

Adicionalmente, embora tenham sido envidados esforços para a inclusão de cinco novas regiões metropolitanas a partir do início de 2025, foi possível, até o momento, estabelecer campanhas amostrais em apenas duas novas cidades: Campo Grande, capital do estado de Mato Grosso do Sul, e Florianópolis, capital de Santa Catarina. Assim, durante o período abrangido por este relatório, participaram efetivamente das campanhas amostrais quinze regiões, incluindo o Distrito Federal.

Cabe destacar ainda que, no município de São Carlos, a campanha prevista para 2025 foi prejudicada por um deslizamento de terra nas proximidades da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Monjolinho, o que impossibilitou a realização das coletas naquele ano. Em decorrência desse evento, a campanha amostral foi transferida para 2026.

Ressalta-se ainda que a inclusão de novas cidades tem sido marcada por dificuldades recorrentes, tais como a lentidão em processos de negociação com companhias de saneamento, a indisponibilidade de amostradores automáticos em algumas ETEs, a ausência de colaboradores locais familiarizados com as técnicas empregadas, entraves operacionais diversos, falhas em analisadores, baixa cobertura de sistemas de saneamento em determinadas regiões, além de casos de recusa por parte de empresas de saneamento em cooperar com as atividades do projeto.

Diante dessas limitações, a equipe do Projeto CLOACINA tem buscado soluções práticas, incluindo a aquisição e envio de amostradores de baixo custo para parceiros que não dispõem desses equipamentos, bem como o deslocamento de pesquisadores para apoiar diretamente campanhas amostrais, etapas de preparo de amostras e ações de capacitação de equipes externas.

Por fim, a Tabela 3 apresenta a evolução anual das cidades e regiões selecionadas ao longo dos diferentes anos de execução do Projeto CLOACINA, incluindo as novas ETEs investigadas em 2025.

Tabela 3. Localidades investigadas no Projeto CLOACINA, ETEs participantes e seus acrônimos.

				Cidade/Região	Estações de Tratamento de Esgotos
2022				Distrito Federal (DF)	Brasília Sul (SUL), Brasília Norte (NOR), Melchior (MEL), Riacho Fundo (RFO), Planaltina (PLA), Gama (GAM), São Sebastião (SSO)
				São Carlos (SCa)	Monjolinho (MON) [2022 e 2023]
				Natal (NAT)	Baldo (BAL)
				João Pessoa (JPA)	Mangabeira (MAN)
				Belo Horizonte (BH)	Arrudas (ARR), Onça (ONC)
				Porto Alegre (POA)	Serraria (SER), Sarandi (SAR) [2022 e 2023], Navegante (NAV) [2024 e 2025]
				Recife (REC)	Cabanga (CAB)
				Curitiba (CWB)	Atuba (ATU), Belém (BEL)
				São Paulo (SPO)	ABC, Suzano (SUZ), São Miguel (SML), Barueri (BAR), Novo Mundo (NMO)
				Niteroi (NIT)	Icaraí (ICA), Toc Toc (TOC)
				São Luis (SLZ)	Vinhais (VIN)
				Fortaleza (FOR)	Estação de Pré-Condicionamento (EPC)
				Goiânia (GOI)	Hélio Seixo de Britto (HSB)
				Florianópolis (FLO)	Lagoa da Conceição (LCO)
				Campo Grande (CGD)	Los Angeles (LAN), Imbirissu (IMB)

Com a incorporação de Campo Grande e Florianópolis em 2025, um total de quinze regiões foram investigadas, o que evidencia a ausência de três novas regiões neste último ano em relação ao planejamento original do projeto, que previa a inclusão de cinco novos locais. Cabe destacar, contudo, que a equipe do Projeto CLOACINA tem mantido tratativas contínuas com instituições acadêmicas e companhias de saneamento de diversas outras cidades e regiões metropolitanas, embora ainda sem êxito. A seguir, são descritos alguns episódios representativos dessas dificuldades.

Em Cuiabá, capital do estado de Mato Grosso, múltiplas tentativas de articulação foram realizadas desde junho de 2022. Inicialmente, foi estabelecido contato com a Profa. Dra. Michelle Fernanda Brugnera, da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), que havia recebido recursos da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT) para execução de um projeto voltado à avaliação da presença de drogas ilícitas em esgotos da cidade, incluindo o desenvolvimento de métodos analíticos para monitoramento do consumo. Apesar do interesse acadêmico e da convergência temática, as tratativas enfrentaram entraves significativos junto à companhia de saneamento local, Águas de Cuiabá, dificultando o acesso às amostras. Tentativas

adicionais de contato direto com a empresa, visando estabelecer algum tipo de convênio institucional, também não produziram avanços concretos. No melhor conhecimento atual da equipe, as iniciativas de EBE em Cuiabá permanecem restritas e ainda não integradas ao escopo do Projeto CLOACINA.

Ainda em maio de 2022, foram iniciadas negociações para incluir a cidade portuária de Santos, no estado de São Paulo, entre os locais investigados. O contato foi realizado com o Prof. Dr. Camilo Dias Seabra Pereira, do Departamento de Ciências do Mar da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), campus Baixada Santista. O Prof. Camilo é referência nacional em estudos ambientais e ecotoxicológicos de drogas ilícitas, especialmente cocaína, em ecossistemas marinhos do litoral paulista. Diversos trabalhos do grupo têm demonstrado a ocorrência recorrente de cocaína e substâncias derivadas de medicamentos em águas superficiais e organismos vivos da Baía de Santos, sob concentrações ambientalmente relevantes. Entretanto, a natureza e a visibilidade desses achados, associados ao lançamento de esgoto sem tratamento por emissários submarinos, têm se mostrado um fator limitante para o estabelecimento de parceria com a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), dificultando o acesso às estações e a viabilização das campanhas amostrais.

Também foram articuladas parcerias com o SENAI CIMATEC para viabilizar coletas em Salvador, capital do estado da Bahia. Os primeiros contatos ocorreram em maio de 2024, inicialmente com o Prof. Dr. Madson Moreira Nascimento e, posteriormente, com o Prof. Dr. Jailson Bittencourt de Andrade, atual Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação da instituição. Contudo, de forma semelhante ao observado em Santos, persistem resistências por parte da companhia de saneamento local em permitir a realização de coletas em suas estações de tratamento, possivelmente em função de preocupações institucionais quanto à repercussão pública negativa associada à divulgação de dados sobre contaminação urbana por drogas e ao lançamento de esgotos. Apesar disso, as tratativas permanecem em aberto, com expectativa de retomada e eventual inclusão de Salvador em campanhas futuras, possivelmente em 2026.

Além das capitais mencionadas, chama atenção o fato de que, até o momento, nenhuma capital da região Norte foi incluída entre as cidades investigadas pelo Projeto CLOACINA. É importante esclarecer que tentativas de articulação foram conduzidas em ao menos três capitais dessa região. No caso de Belém, capital do Pará, estimativas indicam que apenas entre 2 e 4% do esgoto gerado é direcionado a estações de tratamento antes do lançamento na Baía do Guajará, resultando em severa poluição hídrica. Essa baixa cobertura de tratamento constitui uma limitação estrutural importante para a aplicação da EBE, que depende do estabelecimento de pontos amostrais na entrada de ETEs, bem como do acesso a informações hidrológicas e infraestrutura adequada para coleta.

Em Manaus, informações recentes da companhia Águas de Manaus indicam que houve aumento na cobertura da rede de esgoto, passando de 18% em 2018 para cerca de 40%

ao final de 2025. Ainda assim, permanece incerto se esse crescimento se traduz em expansão efetiva do tratamento em ETEs ou apenas em maior número de conexões à rede coletora. Desde agosto de 2025, foram iniciadas articulações com os Profs. Drs. Alex Martins Ramos e Tereza Cristina Souza de Oliveira, ambos da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), mas até o momento tais esforços não culminaram na autorização de acesso a amostras em pontos gerenciados pela companhia local.

Finalmente, desde março de 2025, foram iniciadas tratativas para incluir Palmas, capital do estado do Tocantins, entre as regiões investigadas. Os primeiros contatos foram estabelecidos por intermédio do Perito Criminal Federal Carlos Antonio Almeida de Oliveira junto à empresa BRK Ambiental, responsável pelo saneamento no município. As negociações, entretanto, não avançaram a tempo de permitir coletas ainda em 2025, mas deverão ser retomadas com perspectiva de inclusão em campanhas adicionais ao longo de 2026.

Em síntese, os episódios descritos ilustram que a expansão do Projeto CLOACINA para novas cidades, embora desejável e continuamente buscada, depende de fatores externos relevantes, como cooperação institucional de companhias de saneamento, infraestrutura de tratamento disponível, cobertura da rede coletora e disponibilidade operacional de pontos amostrais. Essas limitações justificam, em grande medida, a inclusão de apenas duas novas regiões em 2025, apesar dos esforços empreendidos pela equipe do projeto.

3 MÉTODOS ANALÍTICOS

A obtenção de estimativas populacionais de consumo de drogas por meio da EBE envolve o estabelecimento de uma sequência analítica estruturada em etapas interdependentes que asseguram a robustez e a confiabilidade dos resultados. O processo inicia-se com o planejamento amostral, no qual são definidos os locais de coleta, as ETE investigadas, o período de amostragem e os parâmetros necessários à aplicação da metodologia, como acesso a população atendida e vazão volumétrica afluente. Em seguida, tem-se a coleta de amostras de esgoto, frequentemente por meio de amostragem compostas ao longo de 24 horas, de modo a capturar variações temporais da vazão volumétrica e garantir maior representatividade quanto à estimativa do consumo comunitário diário.

Após a coleta, as amostras são encaminhadas para laboratórios, onde passam por etapas de preparo, incluindo preservação, filtração, ajustes do meio químico, enriquecimento com padrões internos e extração em fase sólida, visando o isolamento dos biomarcadores de interesse e a redução de interferências da matriz complexa do esgoto. Na sequência, ocorre a análise química propriamente dita, geralmente conduzida por

técnicas de alta sensibilidade e seletividade, como cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas em tandem (LC-MS/MS).

Os dados analíticos brutos são então submetidos a tratamento de modo a fornecer as concentrações dos biomarcadores de interesse, sejam eles drogas parentais ou seus diferentes metabólitos, frequentemente encontrados sob níveis de traços. É importante mencionar que antes das análises, os equipamentos precisam passar por etapas de limpeza e calibração de modo a assegurar o pleno funcionamento. Estas etapas são frequentemente acompanhadas por exercícios de controle de qualidade e garantia de qualidade, onde são realizados diferentes ensaios para garantir condições de precisão e exatidão aceitáveis ou rastreáveis aos resultados obtidos.

Finalmente, com o auxílio de dados acessórios procede-se à produção das estimativas epidemiológicas, convertendo-se concentrações em cargas diárias excretadas e, posteriormente, em valores normalizados pela população, em mg/1000 habitantes/dia, que representam proxies do uso comunitário. Estes resultados são interpretados de forma integrada, considerando aspectos temporais e espaciais, tendências emergentes, comparações interurbanas e possíveis relações com contextos socioeconômicos, eventos específicos ou intervenções institucionais.

3.1 Planejamento Amostral

A epidemiologia baseada em esgoto depende do estabelecimento de parcerias com concessionárias e companhias responsáveis pelo tratamento de esgoto, de modo a viabilizar a obtenção de amostras representativas da população atendida por ETEs. Essa representatividade é, em geral, alcançada por meio de amostragens compostas do esgoto afluente ao longo de 24 horas, realizadas de forma proporcional ao tempo ou à vazão, permitindo integrar as variações naturais do sistema ao longo do dia.

A amostragem composta em um período de 24 horas desempenha papel essencial na obtenção de dados robustos para fins de vigilância epidemiológica e sanitária. Esse método consiste na coleta de alíquotas em intervalos regulares ou de forma proporcional ao fluxo afluente no ponto de amostragem, possibilitando capturar as flutuações diurnas e noturnas nas características físico-químicas e biológicas do esgoto. Como resultado, obtém-se uma representação mais precisa e abrangente da composição do esgoto durante o período amostral.

Para garantir a integridade das amostras e assegurar a qualidade dos dados gerados, é fundamental a utilização de amostradores automáticos refrigerados. Esses equipamentos preservam as características químicas e biológicas do esgoto durante a coleta, minimizando processos de degradação, transformação ou perdas de analitos que poderiam comprometer a confiabilidade dos resultados.

Entretanto, diversas companhias de saneamento parceiras do Projeto CLOACINA ainda não dispõem desse tipo de infraestrutura, o que pode impactar a padronização e a robustez das campanhas amostrais realizadas em diferentes regiões do país. Para superar essa limitação, a equipe do projeto adquiriu 20 amostradores automáticos refrigerados, os quais têm sido disponibilizados durante as campanhas de coleta em localidades que não possuem equipamentos próprios.

A Figura 2 apresenta uma imagem extraída de um dos vídeos instrucionais elaborados pela coordenação do projeto, destinado à capacitação de colaboradores e pontos focais locais para operação do amostrador refrigerado Etsus 2000, fornecido pelo Projeto CLOACINA às regiões participantes que não dispõem dessa infraestrutura.



Figura 2. Imagem de um dos vídeos disponibilizados pela coordenação do projeto para permitir o uso de amostradores Etsus 2000.

Essa iniciativa visa garantir a qualidade dos dados gerados no âmbito do projeto. Como contrapartida, as companhias de saneamento que ainda não possuem esses equipamentos podem utilizá-los nos períodos em que não estejam sendo empregados diretamente nas atividades do CLOACINA. Essa colaboração tem se mostrado fundamental para a fidedignidade das informações produzidas e destaca a importância do investimento em tecnologia adequada para promover práticas de amostragem eficazes em iniciativas nacionais de epidemiologia baseada em esgoto.

3.2 Coleta de Amostras e Campanhas Amostrais

Com o apoio de diferentes colaboradores em universidades, instituições de pesquisa e companhias de saneamento, foi possível coletar amostras compostas de 29 estações de tratamento de esgotos em 13 estados brasileiros, além do Distrito Federal. A Tabela 4 traz detalhes dos pontos amostrais e o período de coletas em cada região, bem como outras informações importantes no contexto do projeto.

Tabela 4. Cidades investigadas, datas das campanhas amostrais em 2025, ETEs participantes, seus acrônimos de referência e demais dados.

Cidade/Região	Período amostral	Estação de Tratamento de Esgoto	População atendida	Vazão Média (m^3/dia)
Distrito Federal - DF	12/11 a 19/11/25	Brasília Norte - NOR	212.128	51.780
		Brasília Sul - SUL	450.720	90.691
		Gama - GAM	134.982	15.654
		Melchior - MEL	1.232.474	116.683
		Planaltina - PLA	209.142	10.702
		Riacho Fundo - RFO	60.498	6.104
		São Sebastião - SSO	183.733	13.811
São Paulo - SPO	19/11 a 26/11/25	Suzano - SUZ	720.000	73.625
		São Miguel - SML	800.000	71.120
		ABC	1.800.000	254.065
		Barueri - BAR	7.700.000	1.399.742
		Novo Mundo - NMO	1.200.000	146.152
Belo Horizonte - BH	05/11 a 12/11/25	Onça - ONC	1.084.779	184.244
		Arrudas - ARR	1.160.488	172.477
Porto Alegre - POA	29/10 a 04/11/25	Navegantes - NAV	180.000	27.285
		Serraria - SER	700.000	100.841
Curitiba - CWB	26/11 a 02/12/25	Atuba - ATU	970.000	130.419
		Belém - BEL	924.000	132.858
Niterói - NIT	25/11 a 02/12/25	Icaraí - ICA	273.539	60.823
	09/12 a 16/12/25	Toc Toc -TOC	106.894	19.108
Recife - REC	05/11 a 12/11/25	Cabanga - CAB	260.000	29.342
Natal - NAT	12/11 a 19/11/25	Baldo - BAL	298.149	31.137
João Pessoa - JPA	03/10 a 10/10/25	Mangabeira - MAN	97.200	4.228
São Luis - SLZ	19/11 a 26/11/25	Vinhais - VIN	350.000	6.952
Fortaleza - FOR	12/11 a 19/11/25	Pré-Condicionamento - EPC	1.800.000	275.170
Goiania - GOI	28/11 a 05/12/25	Hélio Seixo de Britto - HSB	859.238	146.065
Florianópolis - FLO	03/12 a 09/12/25	Lagoa da Conceição - LCO	10.334	2.260
Campo Grande - CGD	26/11 a 02/12/25	Los Angeles - LAN	635.000	76.250
		Imbirissu - IMB	82.650	9.918

Buscou-se realizar amostragens de maneira coordenada, a partir de novembro de 2025, de preferência na mesma semana ou mês. Cabe mencionar que mesmo que os equipamentos de LC-MS/MS tenham voltado a operacionalidade entre agosto e setembro de 2025, as campanhas amostrais so foram iniciadas após a realização de

Relatório Parcial CLOACINA - Quinto (13736017) SEI 23106.106457/2019-62 / pg. 33

diversos ensaios de controle de qualidade e garantia de qualidade. Adicionalmente, articulações com pontos focais, colaboradores e, principalmente, companhias de saneamento precisam ser retomadas a cada ano, mesmo que tais parceiros já estejam colaborando com o projeto ao longo dos anos.

A maioria das amostras foram obtidas durante o mês de novembro de 2025. Em duas situações as amostragens foram iniciadas em outubro de 2025, devido à indisponibilidade de pessoal para realização da coleta e processamento *in loco* das amostras no mês seguinte. Em alguns casos, as amostragens foram realizadas apebnas em dezembro de 2025. É o caso de uma das ETEs de Niterói além da ETE investigada em Goiânia. Em ambos os casos, os amostradores refrigerados apresentaram defeito e precisaram passar por manutenção corretiva.

Em relação às informações apresentadas na Tabela X, cabe mencionar que o município de São Carlos/SP ainda não foi incluído nas campanhas amostrais de 2025, embora coletas estejam programadas tão logo o acesso à ETE Monjolinho seja restabelecido e garantido. Com sua inclusão, o total de estações investigadas passará a ser de 30. Ainda, esforços continuaram a ser realizados durante 2026 para ampliar o número de regiões monitoradas, em conformidade com o planejamento inicial do projeto.

Os procedimentos para amostragem em cada cidade foram uniformizados por meio de um protocolo distribuído para todos os colaboradores, conforme exemplificado no trecho abaixo.

> *RECOMENDAÇÕES PARA AMOSTRAGEM*
>
> - *Águas residuais, afluentes às estações de tratamento de esgotos, devem ser amostradas de modo composto durante o período de 24 h com auxílio de amostrador automático refrigerado com alíquotas coletadas em intervalos de tempo pré-definidos ou, preferencialmente, em função da vazão. Excepcionalmente, caso um amostrador automático refrigerado não esteja disponível, a coordenação do projeto pode fazer a cessão de uso de uma amostrador Etsus 2000, idealizado pelo INCT ETEs Sustentáveis.*
> - *A amostragem diária pode ser feita, por exemplo, entre 8h e 7h59 do dia seguinte, ou em qualquer outra faixa de horário, a depender da logística de operação das ETEs e dos demais parceiros locais.*
> - *As alíquotas e amostras compostas devem ser mantidas sob refrigeração durante todo o período da coleta.*
> - *Ao final da coleta, um volume adequado da amostra composta, cerca de 500 mL, deve ser levada ao laboratório em frasco de vidro âmbar, sempre sob refrigeração.*
> - *A vazão média diária durante cada período de amostragem deve ser fornecida para permitir o cálculo de estimativas em função da carga.*
> - *O número de pessoas atendidas pela bacia de esgotamento sanitário de cada ETE também deve ser fornecido, com a maior exatidão possível.*

Relatório Parcial CLOACINA - Quinto (13736017) SEI 23106.106457/2019-62 / pg. 34

- *Estão previstas de uma a duas campanhas amostrais, de sete dias consecutivos cada, por ano.*

No Protocolo distribuídos aos colaboradores, é destacada a cessão de uso de amostradores automáticos refrigerados de modo que a representatividade das amostras coletadas seja garantida. Atualmente, há amostradores Etsus 2000 do projeto nas cidades de São Carlos, São Paulo, Porto Alegre, Niterói, Recife, Natal, João Pessoa, São Luis, Florianópolis e Campo Grande. Em outras cidades, amostradores Etsus também têm sido usados, embora tenham sido adquiridos por outras fontes. É o caso de Belo Horizonte, Curitiba, Fortaleza e Goiânia. Mesmo assim, nestas cidades, a equipe do projeto CLOACINA tem prestado apoio, sempre que necessário, para garantir o pleno funcionamento dos amostradores durante as campanhas amostrais.

Ainda, com base nos dados da Tabela x, observa-se que em 2025, o Projeto CLOACINA investigou amostras de esgoto localizadas em algumas das regiões metropolitanas mais populosas do Brasil. Em conjunto, as estações de tratamento investigadas atendem cerca de 25 milhões de pessoas, configurando uma base amostral de grande relevância epidemiológica e abrangência territorial. Ainda que essas estimativas não representem a totalidade da população brasileira, elas são altamente representativas e inclusivas, uma vez que refletem padrões de consumo em centros urbanos estratégicos, onde se concentram parcela expressiva da população e das dinâmicas associadas ao mercado de drogas ilícitas.

Além de sua ampla cobertura populacional, a EBE demonstra uma vantagem significativa em termos de viabilidade econômica quando comparada aos métodos tradicionais de levantamento de informações, como entrevistas presenciais e questionários populacionais de grande escala. Caso fosse necessário realizar um levantamento direto e presencial envolvendo 25 milhões de indivíduos, os custos operacionais anuais poderiam ultrapassar facilmente a ordem de um bilhão de reais, considerando a logística, o treinamento de equipes de campo, o controle de qualidade e os desafios inerentes à coleta de dados sensíveis em larga escala.

Em contraste, o Projeto CLOACINA oferece informações empíricas e complementares sobre o consumo comunitário de drogas ilícitas com um custo substancialmente reduzido. Uma vez instalada a infraestrutura laboratorial adequada, estima-se que a produção de estimativas quanto ao consumo de drogas para uma população de, pelo menos, 25 milhões de pessoas correspondente a aproximadamente 1 milhão de reais por ano em custos operacionais diretos que incluem, pagamento de bolsas a estudantes, pesquisadores e colaboradores, deslocamento, custos administrativos, reagentes, padrões, materiais de laboratório, divulgação científica, manutenção de equipamentos, além das análises propriamente ditas.

3.3 Preparo das Amostras de Esgoto

No âmbito deste projeto, biomarcadores do uso de drogas são isolados da matriz do esgoto por meio de métodos baseados na extração em fase sólida, uma abordagem crucial na sequência analítica. Esses métodos são submetidos, anualmente, a aprimoramentos constantes para garantir eficiência e confiabilidade aos resultados produzidos.

A extração em fase sólida (SPE, do inglês *solid phase extraction*) é uma estratégia amplamente utilizada no preparo de amostras para análises químicas, pois permite o isolamento e a pré-concentração de substâncias de interesse, além de proporcionar a limpeza da amostra, minimizando os efeitos negativos da matriz. No entanto, o desenvolvimento de métodos baseados em SPE exige cuidados rigorosos para assegurar a máxima eficiência na recuperação das substâncias de interesse, com reprodutibilidade adequada.

A Figura 3 mostra um esquema representativo da sequência analítica empregada no Projeto Cloacina, incluindo etapas de coleta, preservação, pré-preparo, extração de biomarcadores, transporte de cartuchos SPE e análise das amostras.

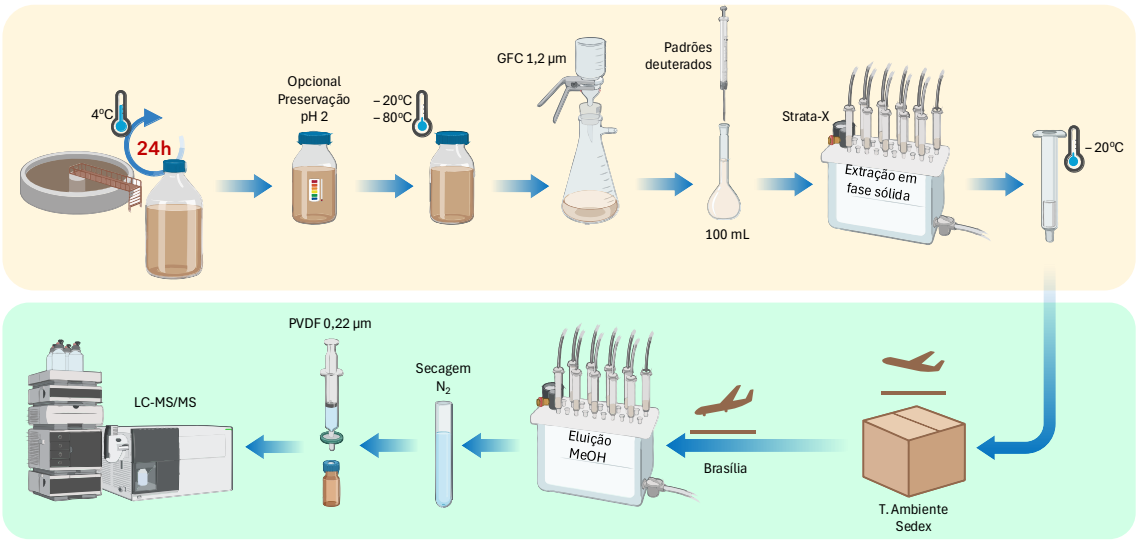

Figura 3. Esquema representativo da sequência analítica empregada para coleta, preparo e análise das amostras de esgoto.

Com base na Figura 3, é possível observar que cada amostra composta coletada durante um período de 24 horas é posteriormente submetida a uma etapa de preservação que pode envolver o ajuste do pH e/ou o congelamento das amostras. O ajuste para pH 2 foi realizado durante as campanhas amostrais de 2022 e 2023 mais foi preterida nas campanhas de 2024 e 2025, pois verificou-se que estavam comprometendo a

detectabilidade do principal metabólito da cannabis nas amostras. Quanto ao congelamento, é uma estratégia bastante desejável, principalmente quando pretende-se processar a extração dos biomarcadores em todas as amostras ao final do período amostral. Neste caso, as amostras coletadas no início da campanha são adequadamente preservadas. Esta etapa pode ser preterida caso o analista tenha disponibilidade para realizar o preparo de cada amostra no mesmo dia da coleta.

Assim, na ampla maioria dos casos, uma alíquota de cerca de 200 mL de cada amostra foi congelada em ambiente laboratorial até a execução da etapa de extração dos biomarcadores. Esta etapa, assim como todas as que estão exemplificadas na Figura 3 sob um fundo amarelo foram realizadas in loco, ou seja, em cada uma das cidades/regiões investigadas. Para tanto, sempre que necessário, integrantes da equipe técnica baseada no Distrito Federal deslocaram-se para as cidades-alvo para execução destas etapas, sempre em ambiente laboratorial gentilmente cedidos pelos colaboradores do projeto. Em outros casos, colaboradores seguiram protocolo específico voltado ao preparo das amostras.

Ao fim de cada campanha amostral, as amostras foram descongeladas sob temperatura ambiente, filtradas em membranas de fibra de vidro para eliminar partículas maiores e tiveram o seu pH ajustado para 6,0, valor este próximo ao verificado em várias amostras de esgoto e previamente investigado de modo a fornecer valores razoáveis de recuperação analítica após a extração em fase sólida.

Em seguida, uma alíquota de 100 mL de cada amostra de esgoto foi enriquecida com padrões internos (PI) deuterados em balões volumétricos. Padrões internos deuterados são substâncias químicas nas quais átomos de hidrogênio são substituídos por deutério, um isótopo estável do hidrogênio, porém mais pesado. São notadamente utilizados em métodos analíticos que envolvem a quantificação dos analitos por espectrometria de massas, atuando como uma substância de referência com comportamento químico quase idêntico ao do analito de interesse, permitindo a obtenção de resultados com alta precisão e correção de perdas durante a preparação da amostra.

A inclusão de padrões internos deuterados nas amostras como *surrogates* (padrões surrogados ou substitutos), representa um passo significativo na busca pela confiabilidade dos resultados obtidos. Ao ser adicionado de forma intencional durante o preparo das amostras, o surrogate atua como um indicador da eficiência dos métodos de extração e análise, contribuindo para a maior precisão e exatidão dos resultados. Em outras palavras, a principal finalidade do surrogate é monitorar possíveis perdas ou alterações nas condições da amostra durante as etapas de preparo e análise. Por exemplo, se a recuperação do surrogate for alta e consistente, isso sugere que o método analítico está mantendo sua eficácia. Caso a recuperação varie ou seja alterada por motivos indeterminados (erros imprevistos), espera-se que o mesmo ocorra com o biomarcador de interesse, já que o surrogate deve ser quimicamente semelhante àquela

que está sendo monitorada, mas que não está naturalmente presente na amostra. Nesse caso, uma análise normalizada entre o padrão interno e o biomarcador poderá contornar o problema, garantindo a confiabilidade do resultado.

Finalmente, as alíquotas das amostras enriquecidas com PI foram submetidas a extração em fase sólida empregando cartuchos comercialmente disponíveis, (Strata-X, 200 mg, Phenomenex), de modo a isolar os biomarcadores de interesse.

Os procedimentos para extração em fase sólida também foram uniformizados por meio de um protocolo distribuído para todos os colaboradores, conforme mostrado no trecho abaixo.

PROTOCOLO PARA EXTRAÇÃO

- *Em laboratório, as amostras devem ser imediatamente submetidas aos processos de extração SPE. Se a extração não puder ser realizada no mesmo dia, as amostras devem ser imediatamente congeladas até a extração. Neste caso, congele entre 200 e 250 mL da amostra em frasco plástico. Não congele a amostra em frasco de vidro. O restante da amostra pode ser descartado ou congelado, como back up, caso haja espaço no freezer;*
- *Caso as amostras tenham sido congeladas, retire-as do freezer com a devida antecedência e, quando atingirem temperatura ambiente, filtre-as sob vácuo em filtros de fibra de vidro com 1,6 a 1,2 µm de porosidade para eliminar agregados grosseiros;*
- *Ajuste o pH da amostra para 6,0 com solução de ácido clorídrico 0,1 mol/L ou hidróxido de amônio 28%;*
- *Adicione 50 µL (microlitros) do mix de padrões deuterados disponibilizado pela coordenação em 100 mL da amostra filtrada e homogeneíze gentilmente. Use balão volumétrico, seringas gas-tight ou micropipetas com ponteiras adequadas, se disponíveis, para melhor exatidão. A pesagem em balança de cinco casas ou mais também é aceitável, desde que com controle de temperatura;*
- *Condicione os cartuchos SPE com 10 mL de metanol (grau HPLC ou superior) seguido de 10 mL de água ultrapura (Milli-Q ou similar) sob baixa vazão (por gravidade, sob vácuo ou com auxílio de bomba peristáltica, entre 3 e 4 mL/min). Realize este procedimento em manifold, se disponível, ou em garras com suportes universais, por exemplo. CUIDADO: Em nenhuma hipótese a fase sólida deve secar durante o condicionamento.*
- *Identifique os cartuchos como o nome da ETE e a data da coleta das amostras;*
- *Carregue 100 mL da amostra sob baixa vazão (por gravidade, sob vácuo ou com auxílio de bomba peristáltica, entre 3 e 4 mL/min); CUIDADO: Em nenhuma hipótese a fase sólida deve secar durante o carregamento.*
- *Após o carregamento, mantenha a amostra sob vácuo ou gravidade até que toda a água, ou boa parte dela, seja removida.*

- *Embale individualmente os cartuchos, identifique a embalagem e armazene à -20 ºC (freezer comum) até o envio para Brasília;*
- *No momento do envio, acondicione os cartuchos em uma caixa acolchoada para garantir que a entrega ocorra sem acidentes. Os cartuchos serão então enviados/levados à Universidade de Brasília para realização das demais etapas do método de preparo e análise das amostras.*

Após a realização de todas as etapas descritas acima e exemplificadas na parte superior da Figura 3, marcada com um fundo amarelo, os cartuchos SPE, originados após o preparo de cada amostra, foram então enviados para a Universidade de Brasília de modo que fosse realizadas as etapas subsequentes de preparo e análise das amostras. A preservação de analitos em cartuchos de extração em fase sólida tem se mostrado a principal forma de preservação de amostras e estabilização de biomarcadores de interesse. Vários estudos têm empregado este procedimento, principalmente aqueles que envolvem redes amplas de participantes que frequentemente precisam enviar amostras para diferentes regiões do globo [20,25].

Assim que os cartuchos chegam ao Distrito Federal, são imediatamente congelados até a etapa de eluição dos biomarcadores que ficaram retidos e preservados na fase sólida empregando solventes apropriados. Em seguida os eluatos são submetidos a etapas de redução de volume, frequentemente via secagem com nitrogênio em equipamentos específicos, e reconstituídos em uma mistura de solventes compatíveis com a análise por LC-MS/MS. Antes, estes extratos finais são submetidos a uma etapa de remoção de possíveis interferentes, seja por filtração em membranas com baixa porosidade, ou mesmo por centrifugação. Todas estas etapas estão marcadas na parte inferior da Figura 3, sobre um fundo esverdeado.

Mesmo após inúmeros ensaios de controle de qualidade e garantia de qualidade, é importante ter em mente que há várias fontes de erro que devem ser cuidadosamente consideradas para garantir um método acurado, preciso e robusto. Uma destas fontes é a contaminação cruzada, que ocorre quando há transferência não intencional de compostos entre amostras durante os procedimentos detalhados na Figura 3, comprometendo a confiabilidade da análise. Para mitigar esse problema, a equipe do projeto procura utilizar materiais exclusivos para cada amostra, além de realizar uma limpeza rigorosa dos demais materiais que são compartilhados entre diferentes amostras, a fim de evitar qualquer tipo de contaminação que possa afetar a precisão dos resultados.

Outra possível fonte de erro é a escolha inadequada da fase sólida adsorvente, que deve apresentar algum grau de compatibilidade com o biomarcador investigado. Idealmente, o biomarcador deve ser eficientemente retido durante a etapa de passagem (carregamento) da amostra pelo cartucho contendo a fase sólida e, posteriormente, removido de forma eficaz na etapa de eluição. Nesse contexto, não apenas o tipo de fase

sólida adsorvente é importante, mas também a combinação de solventes utilizada nas etapas de condicionamento da fase sólida, que antecede o carregamento da amostra, e de eluição dos biomarcadores.

Neste projeto, fases poliméricas com grupos funcionais hidrofílicos e hidrofóbicos têm sido empregadas, levando em consideração as diferentes características dos biomarcadores. Contudo, diante de eventuais baixas recuperações, os métodos de extração em fase sólida têm sido continuamente aprimorados, modificados e validados para atender às necessidades específicas do projeto. Um exemplo disso é o carboxi-THC, biomarcador do consumo de cannabis, que apresentou baixos índices de recuperação, exigindo ajustes nas etapas de preservação e filtração de extratos.

Variações na vazão da amostra e dos solventes que passam pelo cartucho de extração podem influenciar a recuperação dos biomarcadores. Por isso, o procedimento deve ser realizado sob baixa vazão para garantir a interação ideal entre os analitos e a fase adsorvente.

Ainda no que se refere à extração em fase sólida, é importante destacar que a matriz, especialmente em amostras complexas como as de esgoto, pode introduzir interferências que afetam a eficiência da extração dos biomarcadores. Erros na etapa de eluição, quando os biomarcadores são liberados da fase sólida, podem resultar em recuperações insatisfatórias e na presença de interferentes da matriz, prejudicando a qualidade e a precisão dos resultados obtidos.

3.4 Análise das Amostras

Após obtenção de extratos concentrados, os biomarcadores foram quantificados por cromatografia líquida de ultra eficiência acoplada à espectrometria de massas em Tandem (LC-MS/MS). Foi empregado um sistema composto pelo cromatógrafo Agilent 1290 acoplado ao sistema de espectrometria de massas em triplo quadrupolo Agilent 6470 com uma interface de ionização por electrospray (ESI, do inglês, *electrospray ionization*).

A Tabela 5 mostra a lista de biomarcadores a serem investigados nas amostras coletadas em 2025. As substâncias selecionadas para monitoramento no âmbito do Projeto CLOACINA em 2025 abrangem diferentes classes farmacológicas e drogas ilícitas de relevância epidemiológica, incluindo opioides, estimulantes, canabinoides, dissociativos e marcadores associados ao consumo de álcool. A quantificação desses biomarcadores em esgoto permitirá estimar padrões comunitários de consumo e exposição, subsidiando estratégias de vigilância e formulação de políticas públicas nas dimensões de redução da demanda e da oferta.

Tabela 5. Biomarcadores do consumo de drogas e de hábitos da população avaliados em 2024

Biomarcador	Descrição
6- Acetilmorfina (6-AM)	Metabolito associado ao consumo de heroína
Cocaína (COC)	Droga psicoestimulante
Benzoilecgonina (BE)	Metabolito da cocaína associado ao seu consumo
Anidro ecgonina metil éster (AEME)	Metabolito associado ao consumo de cocaína/crack
Cocaetileno (COE)	Metabolito do consumo de cocaína com etanol
Cetamina (KET)	Medicamento com propriedades alucinógenas
Fentanil (FTN)	Droga analgésica opioide sintética
Anfetamina (AMP)	Droga psicoestimulante
Metanfetamina (MAMP)	Droga sintética psicoestimulante
MDMA (*3,4metilenodioximetanfetamina)*	Droga associada ao consumo de ecstasy
MDA *(3,4-metilenodioxianfetamina)*	Droga associada ao consumo de ecstasy
Carboxi-THC	Metabolito associado ao consumo de maconha

A 6-acetilmorfina (6-AM) é um metabólito específico associado ao consumo de heroína, sendo considerada um dos marcadores mais robustos para diferenciar o uso dessa substância de outros opioides. Embora a heroína apresente menor prevalência histórica no Brasil em comparação a outras regiões do mundo, seu monitoramento é estratégico para vigilância precoce, dada a expansão global do mercado de opioides e o risco de emergência de novos padrões de uso.

A cocaína (COC) é uma droga psicoestimulante amplamente consumida no país e figura entre as principais substâncias ilícitas monitoradas em estudos epidemiológicos. Seu uso está associado a riscos cardiovasculares, psiquiátricos e sociais relevantes, além de alimentar redes de tráfico e violência urbana. A quantificação de cocaína em esgoto pode fornecer informações valiosas sobre possíveis origens não associadas ao consumo, como o descarte de drogas inalteradas nas redes de esgotamento sanitário.

Dentre as substâncias cocaínicas, a benzoilecgonina (BE) é o principal metabólito urinário da cocaína e o biomarcador mais utilizado internacionalmente em epidemiologia baseada em esgoto para estimart o consumo desta droga. Por sua elevada estabilidade em águas residuárias, é considerada um marcador confiável para estimativas quantitativas de consumo comunitário de cocaína, permitindo comparações temporais e geográficas robustas. A anidroecgonina metil éster (AEME) é um metabólito associado ao consumo de cocaína na forma de base livre, particularmente relacionada ao crack, produzido durante o processo de pirólise. Sua detecção é relevante para diferenciar padrões de uso entre cocaína aspirada/injetada e cocaína fumada, contribuindo para análises mais refinadas sobre mercados locais e contextos de vulnerabilidade social. Finalmente, o cocaetileno (COE) é um metabólito formado quando há consumo concomitante de cocaína e etanol. Sua presença em esgoto é indicativa de padrões combinados de uso, frequentemente associados a maior toxicidade e risco aumentado de eventos cardiovasculares. Monitorar cocaetileno permite compreender interações relevantes entre substâncias lícitas e ilícitas no contexto populacional, além do efeito de eventos especiais e recreativos.

Relatório Parcial CLOACINA - Quinto (13736017) SEI 23106.106457/2019-62 / pg. 41

Dentre as principais substâncias caracterizadas pelo uso abusivo, a cetamina (KET) é um anestésico dissociativo com propriedades alucinógenas, utilizado clinicamente, mas também sujeito a uso recreativo e abusivo em alguns contextos. Seu consumo ilícito pode estar associado a efeitos neuropsiquiátricos e danos ao trato urinário. O monitoramento é relevante diante da expansão de seu uso em ambientes urbanos no Brasil e de sua circulação em mercados ilícitos. O fentanil (FYL) é um opioide sintético de altíssima potência, amplamente associado à crise de opioides na América do Norte, com grande impacto em mortalidade por overdose. Embora sua ocorrência no Brasil ainda seja limitada, sua vigilância é considerada estratégica, pois pequenas quantidades podem produzir grandes efeitos populacionais, e sua presença pode indicar mudanças emergentes no mercado ilícito.

Quanto aos estimulantes anfetamínicos, a anfetamina (AMP) age no sistema nervoso central, e sua presença na sociedade está associada tanto ao uso ilícito quanto ao desvio de medicamentos prescritos. Seu consumo abusivo está relacionado a dependência, eventos psiquiátricos e aumento de comportamentos de risco. Além disso, pode ser produzida endogenamente e excretada na urina a partir do uso de medicamentos destinados ao controle de obesidade e transtornos como o TDAH. A metanfetamina (MAMP) é um estimulante sintético de alto potencial de abuso e dependência, com expansão documentada em diversos continentes. Seu monitoramento é relevante para identificar precocemente mudanças na circulação de drogas sintéticas e subsidiar respostas rápidas de vigilância e repressão qualificada. O MDMA (3,4-metilenodioximetanfetamina), popularmente conhecido como ecstasy, é uma droga frequentemente associada a ambientes recreativos e eventos de grande aglomeração. Seus riscos incluem hipertermia, desidratação, toxicidade neurológica e adulteração. A EBE tem se mostrado particularmente útil para monitorar variações episódicas de consumo em festivais e datas específicas.

O MDA (3,4-metilenodioxianfetamina) é uma substância intimamente relacionada ao MDMA, podendo estar presente tanto como metabólito secundário quanto, de forma crescente, como droga consumida diretamente. Evidências recentes obtidas por meio de apreensões, análises forenses e estudos envolvendo amostras biológicas e de esgoto sugerem que há produção e circulação significativa de MDA no Brasil, sendo a substância frequentemente comercializada de maneira indistinta ou adulterada como "ecstasy". Nesse contexto, a detecção de MDA em amostras de esgoto tende a refletir não apenas processos metabólicos associados ao consumo de MDMA, mas também o uso direto dessa substância no mercado recreativo. Assim, o monitoramento de MDA torna-se particularmente importante para compreender mudanças na composição e na dinâmica do mercado ilícito de drogas sintéticas, bem como para apoiar estratégias de vigilância e resposta rápida no âmbito das políticas públicas sobre drogas.

Por fim, o carboxi-THC é um metabólito associado ao consumo de cannabis, sendo um marcador fundamental para estimativas comunitárias dessa substância, que permanece

como a droga ilícita mais consumida globalmente. Seu monitoramento é particularmente relevante diante de mudanças na percepção de risco, aumento da potência de derivados e discussões regulatórias em diferentes países, incluindo implicações para saúde pública e políticas de drogas.

A Figura 4 mostra as estruturas químicas dos biomarcadores de drogas de abuso incluídos no método analítico para análise das amostras das campanhas de 2025.

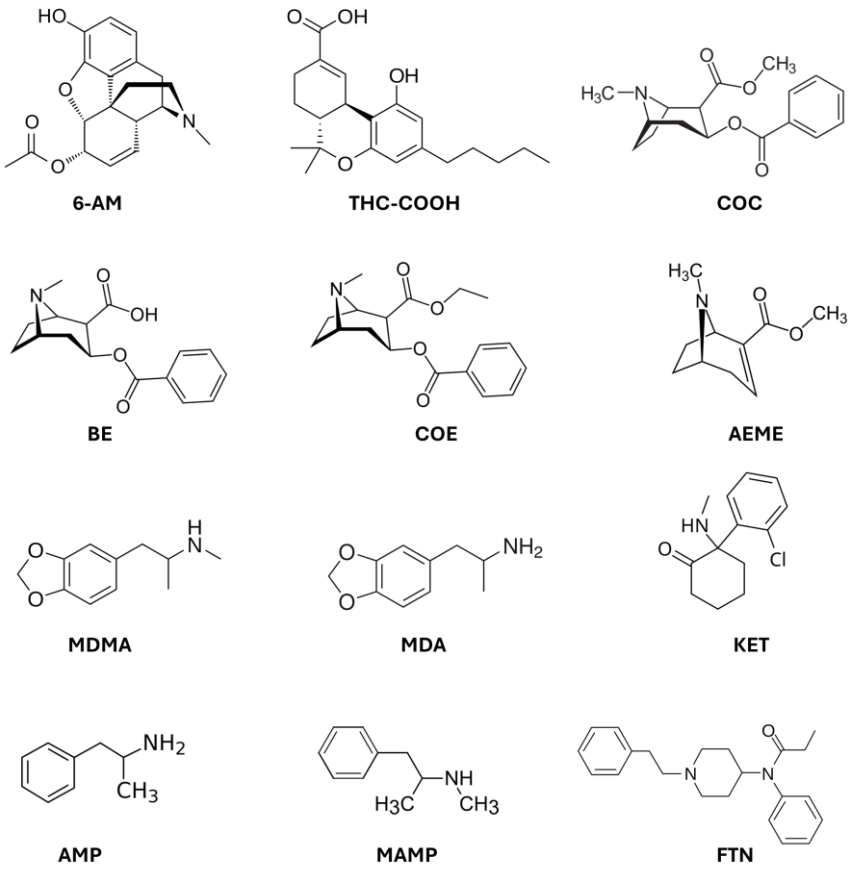

Figura 4. Estruturas dos biomarcadores investigados no Projeto CLOACINA em 2025

Alíquotas dos extratos produzidos após a extração em fase sólida são injetadas no sistema de LC-MS/MS, onde os biomarcadores de interesse serão separados por cromatografia e transferidos para o sistema de espectrometria de massas via fonte ESI. Esta fonte é uma das mais utilizadas em cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas, pois permite a conversão eficiente de moléculas presentes na fase líquida cromatográfica em íons na fase gasosa. Isso é importante, pois equipamentos de espectrometria de massas operam sob alto-vácuo de modo que não é permitida a entrada de líquidos provenientes da etapa de separação cromatográfica.

Nesse processo, o eluato proveniente da coluna cromatográfica é nebulizado sob alta voltagem, formando microgotas carregadas que, ao perderem solvente por evaporação, geram íons moleculares e fragmentos compatíveis com a análise por espectrometria de massas. Uma vez formados, esses íons, denominados íons precursores, são introduzidos no espectrômetro, onde são separados e monitorados de acordo com suas relações massa/carga (m/z), Os íons precursores consistem, usualmente, de moléculas carregadas desprotonadas ($[M–H]^-$) para análises realizadas sob polaridade negativa e moléculas carregadas protonadas ($[M+H]^+$) no modo positivo.

Dentro do sistema de espectrometria de massas, os íons precursores dos biomarcadores são analisados em um sistema do tipo triplo quadrupolo, permitindo a identificação e quantificação seletiva dos biomarcadores de interesse sob níveis de traços. Um esquema representativo é mostrado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**.

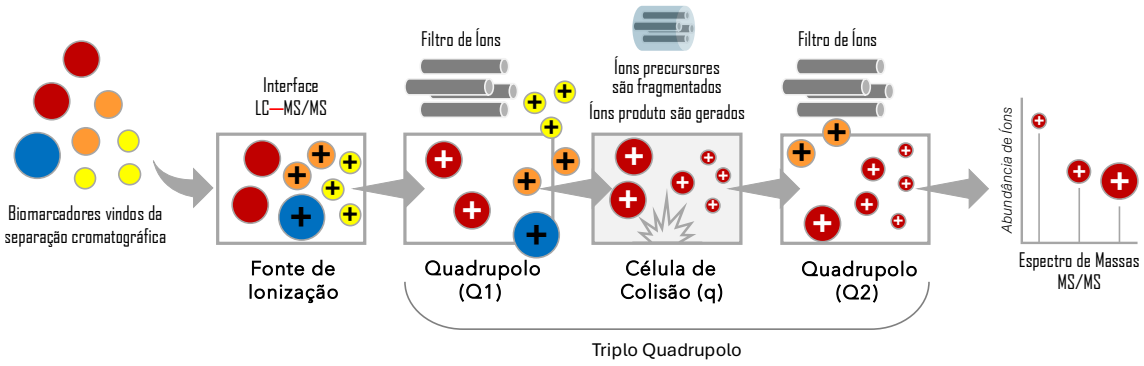

Figura 5. Esquema de um sistema de espectrometria de massas em triplo quadrupolo.

Em resumo, com base na figura 3, íons precursores são separados no primeiro quadrupolo (Q1) e chegam à célula de colisão (q, segundo quadrupolo) onde são fragmentados mediante aplicação de energia em meio contendo um gás inerte. Os íons produzidos na célula de colisão, denominados íons produto, são então separados no terceiro quadrupolo (Q2).

A relação entre o íon precursor e um íon produto é altamente específica, denominada transição precursor-produto. Para cada substância, ao menos duas transições são comumente monitoradas. promovendo alta seletividade e detectabilidade. Transições precursor-produto para cada substância investigada foram selecionadas por meio de bases de dados forenses fornecidas pelo fabricante do equipamento e confirmadas por meio de injeções de padrões individuais puros de cada substância.

Como diversas transições são monitoras concomitantemente, os biomarcadores e os padrões internos foram analisados no modo de monitoramento de reações múltiplas

(MRM, do inglês, *multiple reaction monitoring*). A Tabela X mostra os parâmetros instrumentais empregados para a determinação dos biomarcadores nas amostras de esgoto, incluindo duas transições precursor-produto para os analitos de interesse e uma para os padrões internos deuterados. Embora duas transições sejam monitoradas, apenas a primeira, de maior intensidade é empregada para fins quantitativos, enquanto a segunda é usada para confirmação e seletividade do método.

Tabela 6. Transições precursor-produto, tempo de retenção cromatográfico e parâmetros instrumentais envolvidos na análise de biomarcadores por espectrometria de massas.

Biomarcador	Fragmentor (V)	E. aceleração (eV)	Transições (m/z)	Energia de colisão (eV)	Tempo de retenção (min)
6-AM	194	3	1: 328,2 ⇨ 165,0 2: 328,2 ⇨ 211,0	44 28	3,8
6-AM-D3	119	3	1: 331,1 ⇨ 165,0	50	3,8
AMP	80	3	1: 136,1 ⇨ 119,1 2: 136,1 ⇨ 91,1	8 20	3,8
AMP-D5	80	5	1: 141,2 ⇨ 124,0	12	3,8
MAMP	85	4	1: 150,1 ⇨ 119,1 2: 150,1 ⇨ 91,1	8 28	3,9
MAMP-D11	85	5	1: 160,9 ⇨ 97,0	20	3,9
MDMA	100	5	1: 194,1 ⇨ 163,0 2: 194,1 ⇨ 105,0	10 25	3,9
MDMA-D5	100	5	1: 199,1 ⇨ 165,1	5	3,9
MDA	80	5	1: 180,1 ⇨ 133,1 2: 180,1 ⇨ 105,0	20 20	3,9
MDA-D5	80	5	1: 185,1 ⇨ 168,1	5	3,9
KET	103	5	1: 238,0 ⇨ 179,1 2: 238,0 ⇨ 125,0	20 30	4,1
KET-D4	80	5	1: 242,0 ⇨ 129,0	30	4,1
COC	150	3	1: 304,2 ⇨ 182,1 2: 304,2 ⇨ 82,0	20 40	4,2
COC-D3	150	5	1: 307,2 ⇨ 185,1	10	4,2
BE	150	5	1: 290,2 ⇨ 168,0 2: 290,1 ⇨ 105,0	32 20	4,2
BE-D3	150	5	1: 293,2 ⇨ 171,1	10	4,2
BE-D8	150	5	1: 298,2 ⇨ 171,1	8	4,2
AEME	200	3	1: 182,1 ⇨ 91,1 2: 182,1 ⇨ 65,0	50 50	4,2
COE	80	4	1: 318,2 ⇨ 196 2: 318,2 ⇨ 82,1	28 40	4,4
COE-D3	80	5	1: 321,0 ⇨ 199,0	15	4,4
FTN	146	3	1: 337,2 ⇨ 188,0 2: 337,2 ⇨ 105,0	24 40	4,8
FTN-D5	150	3	1: 342,3 ⇨ 137,1	40	4,8
THC-COOH	95	4	1: 345,2 ⇨ 327,2 2: 345,2 ⇨ 299,2	17 20	6,9
THC-COOH-D9	90	4	1: 354,2 ⇨ 336,2	10	6,9

Diante da intrincada complexidade da matriz de esgoto, a obtenção de resultados precisos e exatos para os biomarcadores de interesse torna-se um desafio essencial.

Nesse contexto, a adoção de equipamentos altamente sensíveis, juntamente com a validação e controle rigoroso dos métodos analíticos empregados, surge como uma abordagem fundamental para mitigar os efeitos dessa complexidade. Nesse sentido, algumas ações específicas relacionadas à análise das amostras merecem destaque.

A quantificação das substâncias foi realizada pela construção de curvas analíticas com superposição de matriz e padronização interna. A construção de curvas analíticas por meio da superposição de matriz (*matrix-matched calibration*) surge como uma estratégia adicional para atenuar o impacto da matriz complexa na exatidão das análises. Esta técnica aprimora a confiabilidade das medições, especialmente em matrizes de amostras complexas, como as de esgoto. Baseia-se na obtenção de amostras que representam a matriz a ser analisada, geralmente o próprio esgoto, juntamente com a preparação dos padrões de calibração, com concentrações conhecidas dos biomarcadores, nesta matriz complexa.

Assim, tanto as amostras a serem analisadas quanto os padrões de calibração passam pela análise por LC-MS/MS e sofrem os mesmos tipos de interferências. Os resultados obtidos pelos padrões são então utilizados para construir uma curva analítica específica para a matriz verdadeira. Essa curva é, por sua vez, empregada para quantificar os analitos nas amostras reais, levando em consideração as complexidades específicas da matriz e fornecendo resultados mais adaptados às condições da amostra.

Além disso, as curvas são construídas com padronização interna, onde os surrogates deuterados são usados como padrões internos isotopicamente marcados para corrigir variações associadas ao preparo de amostras, à eficiência de extração, a eventuais efeitos de matriz e a flutuações instrumentais durante a análise por LC-MS/MS. Como mencionando anteriormente, esses compostos apresentam comportamento químico muito semelhante ao dos biomarcadores alvo, porém podem ser distinguidos no espectrômetro de massas devido à diferença de massa (m/z). Assim, a quantificação é realizada a partir da razão entre o sinal do biomarcador e o sinal do respectivo padrão interno deuterado, permitindo maior precisão, exatidão e robustez na determinação das concentrações nas amostras complexas de esgoto. As Figura 6 a 17 mostram as curvas analíticas por superposição de matriz e padronização interna construídas para a análise de cada biomracador.

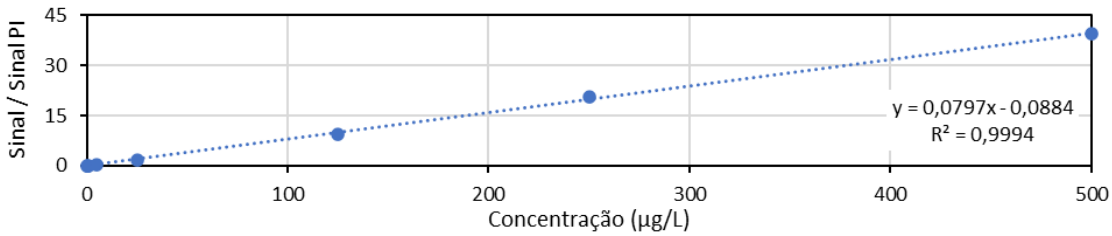

Figura 6. Curva analítica para determinação de 6-acetilmorfina nas amostras de esgoto

Relatório Parcial CLOACINA - Quinto (13736017) SEI 23106.106457/2019-62 / pg. 46

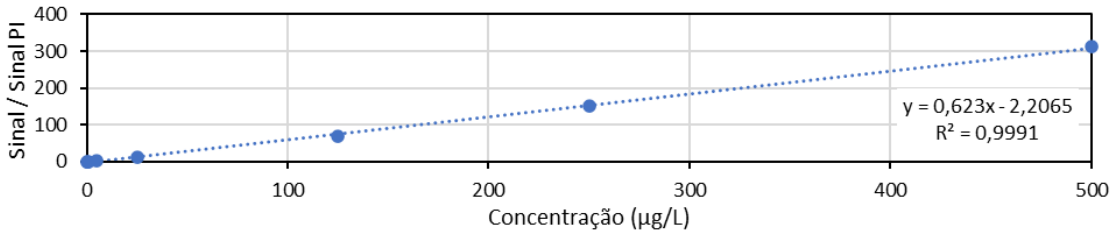

Figura 7. Curva analítica para determinação de anfetamina nas amostras de esgoto

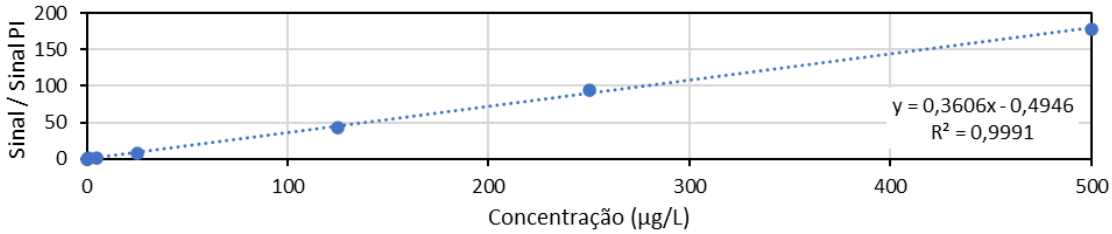

Figura 8. Curva analítica para determinação de metanfetamina nas amostras de esgoto

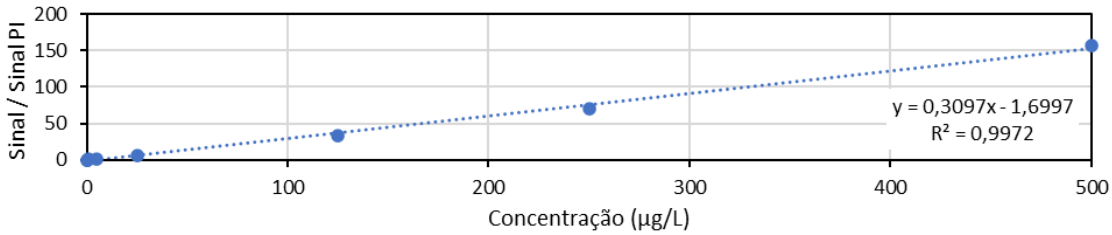

Figura 9. Curva analítica para determinação de MDMA nas amostras de esgoto

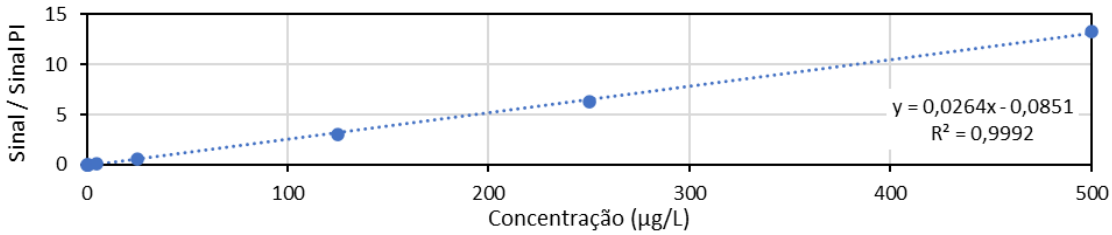

Figura 10. Curva analítica para determinação de MDA nas amostras de esgoto

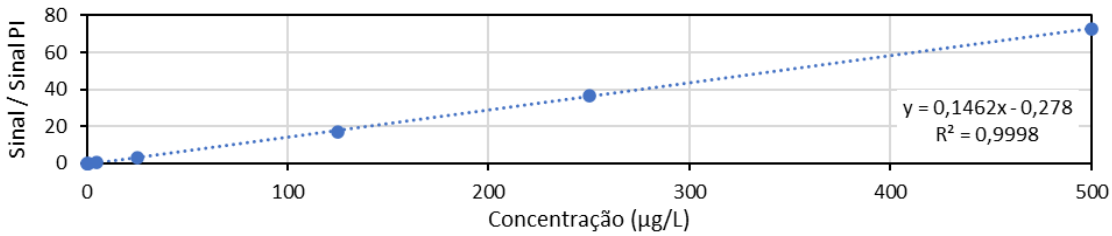

Figura 11. Curva analítica para determinação de cetamina nas amostras de esgoto

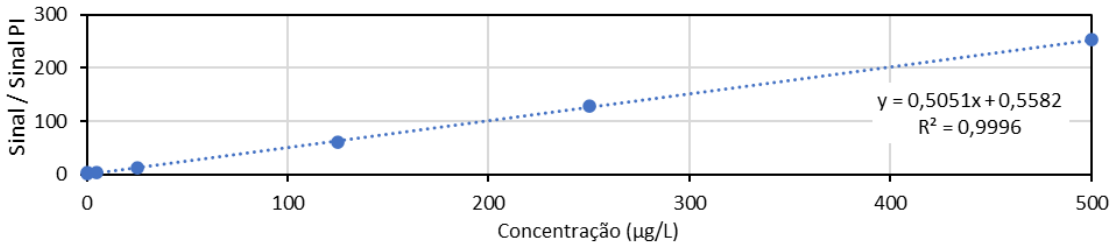

Figura 12. Curva analítica para determinação de cocaína nas amostras de esgoto

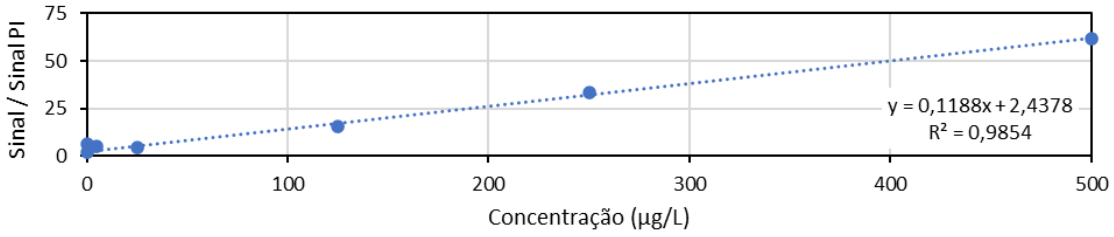

Figura 13. Curva analítica para determinação de benzoilecgonina nas amostras de esgoto

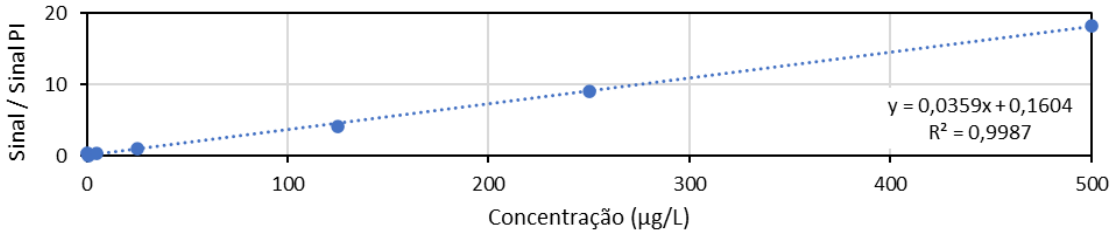

Figura 14. Curva analítica para determinação de anidroecgonina metiléster nas amostras

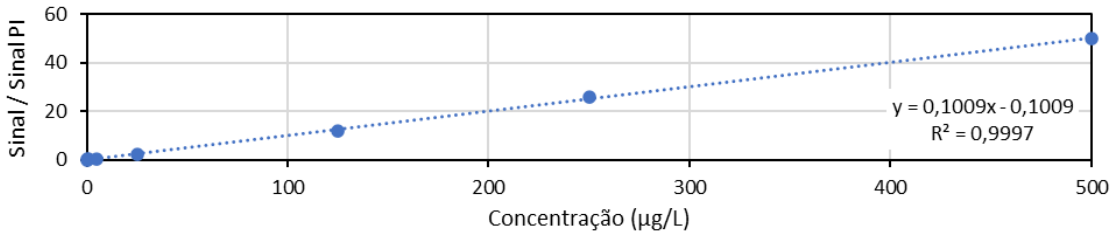

Figura 15. Curva analítica para determinação de cocaetileno nas amostras de esgoto

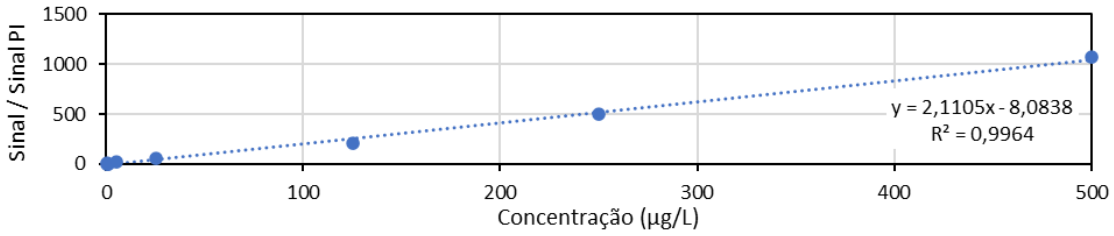

Figura 16. Curva analítica para determinação de fentanil nas amostras de esgoto

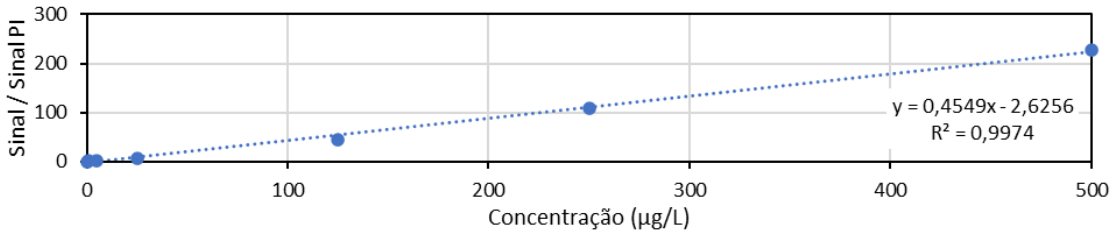

Figura 17. Curva analítica para determinação de carboxi-THC nas amostras de esgoto

3.5 Validação e Confiabilidade Analítica

Ensaios de efeito de matriz e recuperação analítica são etapas importantes na validação de métodos quantitativos por LC-MS/MS, especialmente aplicados para análises em matrizes complexas, como as de esgoto. Isso porque biomarcadores co-eluidos após corrida cromatográfica, bem como interferentes da matriz, podem causar supressão ou realce de íons na fonte de electrospray, afetando diretamente a resposta analítica. Para lidar e rastrear quantitativamente esses efeitos, há vários procedimentos descritos na literatura. Em dos mais empregados em análises por LC-MS/MS baseia-se na comparação entre padrões em solvente, amostras fortificadas após extração e amostras fortificadas antes da extração, permitindo calcular o efeito de matriz (EM), a recuperação analítica (R) e a eficiência global do processo (P).

Com base nesta estratégia experimental, são realizadas comparações entre três conjuntos de amostras preparadas em paralelo. O primeiro conjunto consiste em um padrão preparado em solvente puro, sem presença de matriz, cuja resposta instrumental representa o sinal ideal do analito (A). O segundo conjunto é composto por extratos obtidos após a extração em fase sólida, aos quais os biomarcadores são adicionados somente após a extração (B), fornecendo uma medida do efeito da matriz sobre a ionização na fonte ESI, sem influência de perdas no preparo. Finalmente, o terceiro conjunto corresponde às amostras de matriz fortificadas antes da extração em fase sólida e submetidas integralmente ao procedimento analítico (C), refletindo simultaneamente perdas na extração e efeitos de matriz na fonte. A partir dessas três respostas analíticas, o efeito de matriz é calculado pela razão entre o sinal obtido na amostra pós-extração e o sinal do padrão em solvente, conforme a equação 1.

$$EM(\%) = \frac{B}{A} \times 100 \quad (1)$$

Assim, valores inferiores a 100% indicam supressão iônica, enquanto valores superiores a 100% indicam realce. A recuperação do procedimento de extração (R) é obtida isolando-se a eficiência do preparo, por meio da comparação entre as amostras fortificadas antes e após a extração, como mostra a equação 2, que expressa a fração do analito efetivamente recuperada durante a etapa de extração em fase sólida.

$$R(\%) = \frac{C}{B} \times 100 \quad (2)$$

Por fim, a eficiência global do processo (PE), que integra simultaneamente recuperação e efeito de matriz, é calculada pela comparação entre a resposta do processo completo e o padrão em solvente:

$$P(\%) = \frac{C}{A} \times 100 \quad (3)$$

Esta estratégia permite discriminar de forma se eventuais perdas analíticas decorrem predominantemente de interferências de matriz durante a ionização por electrospray, de baixa eficiência durante a extração, ou da combinação de ambos os fatores. A Tabela 7 mostra os resultados obtidos para estes parâmetros de mérito analítico em ensaios conduzidos em triplicata para a análise de amostras coletadas em 2025.

Tabela 7. Estimativas para recuperação analítica, efeitos de matriz e eficiência do método empregado para análise das amostras de esgoto do Projeto CLOACINA.

Biomarcador	R (%)			EM (%)			P(%)
	a	*b*	*média*	*c*	*d*	*média*	*média*
6-AM	97±4	95±2	96±3	105±4	97±2	101±3	97±3
AMP	97±4	95±2	96±3	105±4	97±2	101±3	97±3
MAMP	102±5	94±3	98±4	81±3	92±2	86±3	84±3
MDMA	99±6	95±2	97±4	106±6	97±2	101±4	97±4
MDA	95±6	95±2	95±4	106±6	106±2	106±4	100±4
KET	99±5	97±2	98±3	107±5	98±1	102±3	100±3
COC	101±6	97±2	99±4	102±5	96±1	99±3	98±4
BE	5±11	96±16	51±14	114±25	117±9	116±7	58±15
AEME	22±10	89±4	56±7	82±14	76±2	79±4	44±8
COE	98±5	96±2	97±4	103±5	100±2	101±4	98±4
FTN	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
THC-COOH	90±25	71±6	80±16	94±11	155±11	125±11	100±3

R(%): porcentagem de recuperação analítica, EM(%) porcentagem de efeito de matriz, P(%): porcentafgem de eficiência do método. a: amostra enriquecida com 200 ng/L dos biomarcadores, b: amostra enriquecida com 2000 ng/L dos biomarcadores, c: extrato enriquecido com 25 µg/L dos biomarcadores, d: extrato enriquecido com 125 µg/L dos biomarcadores.

Na Tabela 7 observam-se resultados globalmente satisfatórios, com valores de recuperação, efeito de matriz e eficiência do processo próximos a 100% para a maioria dos biomarcadores avaliados. As principais exceções foram a benzoilecgonina e o AEME, que apresentaram desempenho inferior na recuperação analítica, notadamente nos ensaios realizados no menor nível de enriquecimento.

No caso da benzoilecgonina, foi observada recuperação muito baixa nas amostras fortificadas com a menor concentração do biomarcador, em contraste com a excelente recuperação obtida no nível de enriquecimento superior (96 ± 16%). Esse

Relatório Parcial CLOACINA - Quinto (13736017) SEI 23106.106457/2019-62 / pg. 50

comportamento pode indicar uma limitação do método para quantificação de concentrações muito baixas desse metabólito nas amostras de esgoto. Embora esse resultado mereça atenção, ele reforça a importância dos ensaios de validação, uma vez que permite identificar potenciais fontes de erro associadas ao procedimento analítico, que dificilmente seriam detectadas sem avaliações sistemáticas de recuperação. Adicionalmente, deve-se considerar que os níveis de benzoilecgonina em amostras de esgoto tendem a ser relativamente elevados, em função do amplo consumo de cocaína no país e da elevada estabilidade desse biomarcador majoritário em águas residuárias. Dessa forma, o impacto prático dessa limitação pode ser reduzido em campanhas de monitoramento rotineiras. Ainda assim, esforços adicionais serão envidados para compreender as causas dessa baixa recuperação em concentrações próximas ao limite inferior do método. De modo semelhante, recuperações inferiores para o AEME também foram observadas nas amostras enriquecidas no menor nível de concentração, sugerindo que esse biomarcador pode apresentar comportamento analítico mais desafiador em níveis traço, exigindo atenção metodológica adicional.

Quanto ao efeito de matriz, os resultados foram considerados satisfatórios de forma geral, com leve realce observado para a benzoilecgonina e, de maneira mais pronunciada, para o carboxi-THC em concentrações mais elevadas. Por fim, valores adequados de eficiência global do método foram obtidos para todos os biomarcadores avaliados, embora benzoilecgonina e AEME permaneçam como analitos que demandam investigação e otimização adicional, sobretudo em baixos níveis de concentração.

Além dos ensaios internos de validação, a garantia da qualidade analítica também depende de mecanismos externos de harmonização e comparabilidade internacional. Nesse sentido, a participação em exercícios interlaboratoriais de calibração constitui uma etapa fundamental para assegurar que os resultados obtidos sejam consistentes com padrões adotados globalmente e compatíveis com iniciativas de vigilância em larga escala. Neste sentido, o Projeto CLOACINA tem participado de exercícios de calibração interlaboratorial promovidos pela Rede SCORE (*Sewage Analysis CORe group Europe*), um dos principais consórcios internacionais focados na EBE que conta com apoio direto da Agência de Drogas da União Europeia (EUDA).

A Rede SCORE reúne especialistas em EBE de diversas partes do mundo e permite a comparação de métodos analíticos, resultando em melhores práticas para a detecção de drogas e outros biomarcadores no esgoto. Desde 2021, a equipe do Cloacina tem recebido amostras enriquecidas com uma série de biomarcadores pós-consumo de drogas, como carboxi-THC, 6-acetilmorfina, cetamina, cotinina, metanfetamina, benzoilecgonina, MDMA e anfetamina. Os resultados obtidos pela equipe do Projeto CLOACINA em 2024 são mostrados na Figura 18. O exercício de 2024 contou com a participação de 44 laboratórios de todos os continentes do mundo, o que evidencia a competência da equipe e a qualidade de seus protocolos analíticos. Foram analisadas três amostras distintas quanto aos níveis de diferentes biomarcadores.

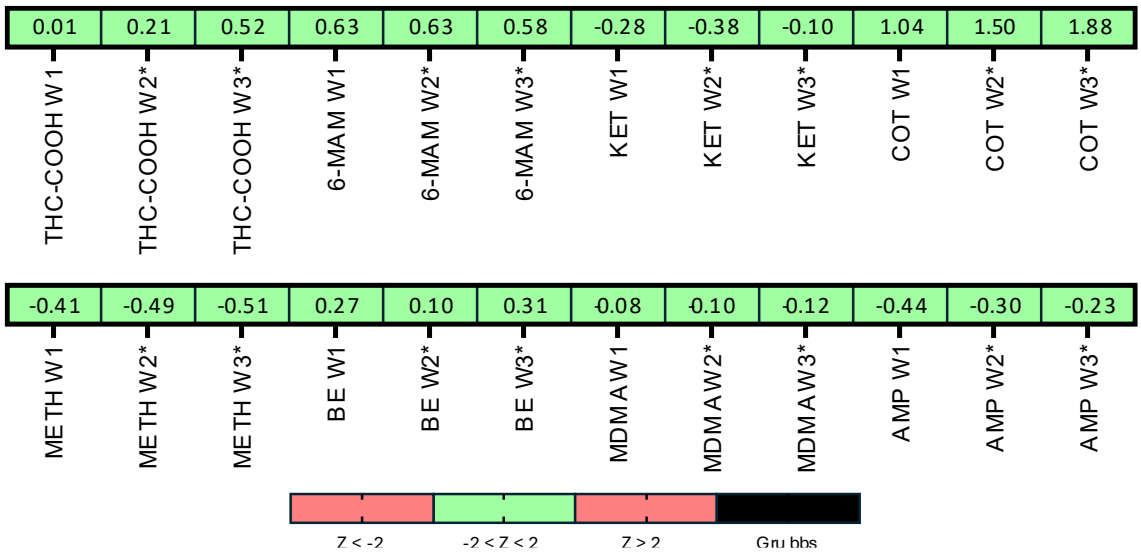

Figura 18. Performance da equipe do Projeto Cloacina no exercício de calibração interlaboratorial promovido pela Rede SCORE em 2024.

Observa-se na Figura 18 que a equipe do projeto obteve resultados altamente satisfatórios para todos os biomarcadores, sob diferentes níveis de concentração, com Z-Scores dentro dos limites estabelecidos pela Rede (± 2). Os biomarcadores analisados foram THC-COOH, 6-AM, KET, MAMP, BE, MDMA, AMP, além da cotinina (COT), um metabólito oriundo da nicotina.

Em 2025, um novo exercício foi realizado, desta vez com a participação de 49 laboratórios espalhados pelo globo. Novamente, três amostras foram analisadas, sendo que os resultados obtidos pela equipe do projeto encontram-se na Figura 19.

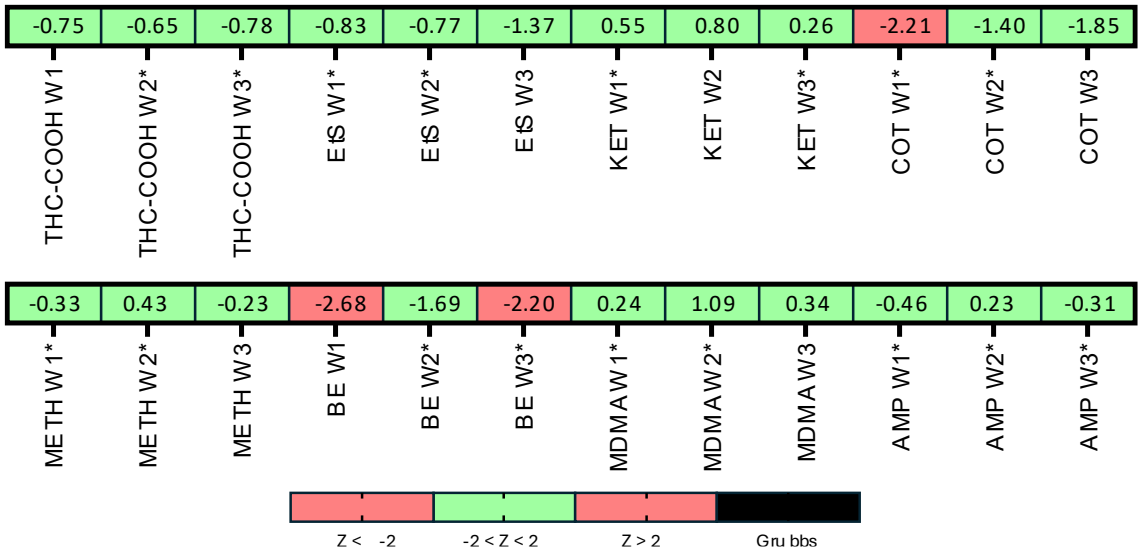

Figura 19. Performance da equipe do Projeto Cloacina no exercício de calibração interlaboratorial promovido pela Rede SCORE em 2025

Relatório Parcial CLOACINA - Quinto (13736017) SEI 23106.106457/2019-62 / pg. 52

No exercício de calibração interlaboratorial de 2025, os resultados obtidos pela equipe do Projeto CLOACINA foram, de modo geral, satisfatórios, confirmando a consistência do desempenho analítico em comparação com outros laboratórios participantes. As principais exceções ocorreram em uma das amostras para cotinina e em duas das três amostras analisadas para benzoilecgonina. Nesses casos, os valores reportados situaram-se fora dos limites definidos como duas vezes o desvio padrão em relação ao valor de consenso, embora não tenham sido formalmente classificados como *outliers*.

Particularmente para a benzoilecgonina, observou-se que os resultados determinados pela equipe ficaram sistematicamente abaixo do esperado, sugerindo uma redução de acurácia na quantificação desse biomarcador ao longo do exercício de 2025. Esse achado é relevante, pois converge com os resultados obtidos nos ensaios internos de validação apresentados anteriormente, nos quais também foi observada recuperação significativamente baixa para benzoilecgonina no menor nível de enriquecimento. A concordância entre os dois conjuntos de evidências, validação interna e calibração interlaboratorial, reforça a hipótese de que existe um aspecto metodológico específico relacionado a esse analito que demanda investigação e aprimoramento.

Diversos fatores podem ter contribuído para esse comportamento observado em 2025, incluindo as dificuldades operacionais enfrentadas no início do ano, quando os sistemas analíticos permaneceram inoperantes por um período prolongado aguardando reparos, bem como o tempo de armazenamento das amostras do exercício após o recebimento, até a efetiva realização dos ensaios. Não se descarta ainda a possibilidade de interferências de matriz, reagentes ou padrões fora da especificação técnica, ou de algum fator instrumental ainda não identificado que tenha impactado seletivamente a quantificação da benzoilecgonina. Nesse sentido, esforços adicionais serão direcionados para compreender e mitigar as possíveis fontes de erro, assegurando maior robustez na determinação desse biomarcador em campanhas futuras.

Para os demais biomarcadores avaliados, os resultados permaneceram altamente satisfatórios, em consonância com o desempenho observado no exercício de 2024, evidenciando a estabilidade geral do método empregado no projeto. Cabe mencionar ainda que o grupo SCORE optou por substituir o biomarcador 6-acetilmorfina (6-AM) nos exercícios interlaboratoriais, incorporando em seu lugar o etil sulfato (EtS), marcador do consumo de álcool. Conforme apresentado na Figura 19, a equipe do Projeto CLOACINA obteve resultados dentro dos limites estabelecidos para esse novo biomarcador, demonstrando adequada adaptação às atualizações metodológicas propostas pela Rede.

Relatório Parcial CLOACINA - Quinto (13736017) SEI 23106.106457/2019-62 / pg. 53

3.6 Tratamento dos Dados e Estimativas de Carga e Consumo

Após a quantificação de drogas, metabólitos e adulterantes nas amostras de esgoto, o grau de exposição populacional é estimado por meio do cálculo da carga comunitária dessas substâncias. Esse parâmetro expressa a massa diária de um composto associada à população atendida por uma determinada estação de tratamento de esgoto (ETE), sendo comumente reportado em unidades normalizadas, como mg/1000 habitantes/dia. A carga populacional é calculada a partir da concentração do biomarcador no esgoto e do volume de esgoto afluente, conforme apresentado na Equação 4

$$Carga = \frac{c\ x\ Q_v}{hab} \quad (4)$$

Onde c é a concentração (em mg/L) do composto alvo no esgoto, Q_v é a vazão volumétrica do esgoto afluente na ETE (em L/dia) e hab representa o número de habitantes atendidos pelo sistema de esgotamento sanitário associado à ETE.

Além de fornecer uma estimativa robusta da carga excretada por uma população, a EBE também permite retrocalcular o consumo comunitário de determinadas drogas ilícitas. Para isso, é necessário incorporar um fator de correção f, relacionado à proporção da droga efetivamente metabolizada e excretada na forma do biomarcador monitorado. Dessa forma, a Equação 1 pode ser adaptada para a Equação 5, que representa uma estimativa do montante consumido:

$$Consumo = \frac{c\ x\ Q_v\ x\ f}{hab} \quad (5)$$

O fator f constitui um dos elementos mais discutidos na EBE, pois representa a ponte farmacocinética entre a substância consumida e o biomarcador detectado no esgoto. Em geral, f é derivado a partir de dados clínicos e farmacocinéticos disponíveis na literatura, levando em consideração (i) a fração excretada do composto alvo após o consumo, (ii) a razão molar entre a droga e o biomarcador quantificado, e (iii) diferenças associadas às rotas de administração.

No trabalho pioneiro que consolidou a EBE como ferramenta epidemiológica, o consumo de cocaína foi estimado utilizando a benzoilecgonina como biomarcador majoritário, assumindo que cerca de 45% da cocaína administrada via intranasal seria excretada na urina sob a forma desse metabólito [26]. A partir dessa proporção e da relação entre massas molares, foi obtido um fator f de 2,33, valor amplamente empregado em estudos subsequentes. Posteriormente, trabalhos mais abrangentes propuseram fatores diferenciados, incorporando novos dados farmacocinéticos e prevalências distintas de rotas de consumo em diferentes regiões, como Europa [27], Caribe [28] e, mais especificamente para o contexto do presente relatório, Brasil [14,16].

Valores típicos de taxas de excreção e fatores de correção f empregados na literatura para diferentes drogas e biomarcadores encontram-se sumarizados na Tabela X, a qual

Relatório Parcial CLOACINA - Quinto (13736017) SEI 23106.106457/2019-62 / pg. 54

evidencia a variabilidade desses parâmetros conforme a substância investigada, a rota de administração predominante e o contexto epidemiológico considerado. Dessa forma, embora as Equações 4 e 5 permitam a produção de estimativas quantitativas altamente úteis para vigilância epidemiológica e políticas públicas, é importante reconhecer que o fator f introduz incertezas inerentes associadas ao metabolismo humano e às características regionais de uso. Por esse motivo, valores empregados em retrocálculos devem ser cuidadosamente selecionados com base na literatura e nas particularidades do contexto investigado, e interpretações devem considerar a natureza aproximada dessas estimativas.

4 ATIVIDADES PLANEJADAS PARA O ANO DE 2026

A Tabela 8 apresenta um panorama consolidado do andamento das campanhas amostrais referentes ao ano de 2025 e das etapas analíticas pendentes.

Tabela 8. Andamento das campanhas amostrais e das etapas analíticas referentes ao ciclo de monitoramento de 2025 no âmbito do Projeto CLOACINA

Cidade/Região	Coletas realizadas?	Amostras Processadas?	Cartuchos enviados	Análises realizadas	Dados tratados?	Estimativas produzidas?
Distrito Federal	Sim (Nov)	Sim (Dez)	Não se aplica	Sim (Jan)	Não	Não
São Paulo	Sim (Nov)	Sim (Jan)	Não	Não	Não	Não
Belo Horizonte	Sim (Nov)	Sim (Jan)	Sim (Jan)	Não	Não	Não
Porto Alegre	Sim (Nov)	Sim (Dez)	Sim (Dez)	Sim (Jan)	Não	Não
Curitiba	Sim (Nov)	Sim (Dez)	Sim (Jan)	Sim (Jan)	Não	Não
Niterói	Sim (Nov/Dez)	Sim (Jan)	Sim (Jan)	Sim (Jan)	Não	Não
Recife	Sim (Nov)	Sim (Dez)	Sim (Dez)	Sim (Jan)	Não	Não
Natal	Sim (Nov)	Não	Não	Não	Não	Não
João Pessoa	Sim (Out)	Sim (Nov)	Sim (Dez)	Sim (Jan)	Não	Não
São Luis	Sim (Nov)	Sim (Nov)	Sim (Nov)	Sim (Jan)	Não	Não
Fortaleza	Sim (Nov)	Sim (Dez)	Sim (Dez)	Sim (Jan)	Não	Não
Goiania	Sim (Nov/Dez)	Sim (Dez)	Sim (Dez)	Sim (Jan)	Não	Não
Florianópolis	Sim (Dez)	Sim (Dez)	Sim (Jan)	Sim (Jan)	Não	Não
Campo Grande	Sim (Nov/Dez)	Sim (Dez)	Sim (Jan)	Sim (Jan)	Não	Não
São Carlos	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Cidade A	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Cidade B	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Cidade C	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Observa-se que a maior parte das coletas de esgoto foi efetivamente concluída nas regiões metropolitanas previstas, e que um número expressivo de amostras já foi processado laboratorialmente, incluindo etapas de preparo e extração em fase sólida. Ademais, para amostras de diversas cidades, as análises por (LC-MS/MS) já foram

Relatório Parcial CLOACINA - Quinto (13736017) SEI 23106.106457/2019-62 / pg. 55

iniciadas durante o mês de janeiro, representando um avanço na execução do cronograma analítico.

Entretanto, é importante destacar que este relatório, finalizado excepcionalmente no início de janeiro, ainda não apresenta estimativas finais de carga e consumo de drogas, uma vez que etapas subsequentes à análise instrumental permanecem em andamento. Embora grande parte dos ensaios cromatográficos tenha sido executada, ainda estão pendentes procedimentos essenciais de validação e tratamento dos dados, incluindo a checagem detalhada dos sinais cromatográficos, a revisão da integração dos sinais, a verificação de inconformidades analíticas e a consolidação das concentrações finais dos biomarcadores quantificados.

Adicionalmente, algumas etapas operacionais previstas para 2025 sofreram atrasos importantes em determinadas regiões. Em Natal/RN, por exemplo, embora as coletas tenham sido realizadas em novembro, o processamento laboratorial das amostras ainda não foi iniciado, o que inviabilizou a continuidade das análises nesse ciclo. Situação semelhante ocorre em São Paulo/SP, onde, apesar da coleta ter sido concluída em novembro, o processamento *in loco* foi iniciado apenas em janeiro, sendo que os cartuchos necessários para eluição dos biomarcadores e posterior análise ainda não foram enviados para Brasília.

Cabe ressaltar também que, em diversas regiões, o envio de cartuchos e materiais associados ocorreu apenas durante o mês de janeiro, ou seja, neste mesmo período de fechamento do relatório. Esse aspecto operacional impediu a apresentação de resultados, uma vez que a etapa de extração e análise por LC-MS/MS depende diretamente da chegada desses cartuchos de extração. Assim, embora cidades como Belo Horizonte, Niterói e Campo Grande já tenham encaminhado seus cartuchos, o envio recente limita a realização das análises dentro do ciclo anual planejado.

Além disso, a produção das estimativas epidemiológicas depende não apenas das concentrações analíticas, mas também de informações operacionais fornecidas pelos parceiros locais, tais como dados de vazão volumétrica afluente nas ETEs e estimativas atualizadas da população efetivamente atendida. Até o momento, alguns desses dados ainda não foram integralmente disponibilizados por colaboradores das regiões participantes, inviabilizando temporariamente o cálculo completo das cargas diárias e das retroestimativas de consumo.

Cabe mencionar ainda que o município de São Carlos/SP, previsto no planejamento inicial, não foi investigado em 2025, mas deverá ser incorporado nos próximos meses, assim que o acesso à ETE Monjolinho estiver plenamente restabelecido. Paralelamente, esforços continuam sendo realizados para ampliar o número de regiões monitoradas em 2026, incluindo negociações em andamento para integrar três novas localidades adicionais, denominadas provisoriamente como Cidades A, B e C, em conformidade com os objetivos originais do projeto.

Por fim, ressalta-se que um novo relatório parcial complementar será elaborado e disponibilizado assim que todas as etapas de tratamento dos dados forem concluídas e as estimativas finais de carga e consumo forem devidamente calculadas e validadas, assegurando a robustez e a comparabilidade dos resultados produzidos pelo Projeto CLOACINA.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Projeto CLOACINA consolida-se, ao final de seu quinto ano de execução, como uma iniciativa pioneira e estratégica para o avanço da epidemiologia baseada em esgoto no Brasil, com ampla relevância científica, institucional e operacional. Ao longo do período abrangido por este relatório, foram realizados progressos substanciais na ampliação do monitoramento do consumo de drogas ilícitas e substâncias controladas em regiões metropolitanas de grande importância populacional, fortalecendo a capacidade nacional de gerar evidências empíricas e geolocalizadas em apoio às políticas públicas coordenadas pela SENAD.

Os resultados acumulados até o momento refletem o amadurecimento metodológico do projeto, evidenciado pela consolidação da infraestrutura analítica instalada na Universidade de Brasília, pela padronização de protocolos em rede nacional, pela participação contínua em exercícios internacionais de calibração interlaboratorial promovidos pela rede SCORE/EUDA e pelo fortalecimento de parcerias em diferentes regiões do país. O conjunto dessas ações reafirma o caráter inovador do Projeto CLOACINA e da EBE como ferramenta complementar aos métodos tradicionais de monitoramento, oferecendo informações objetivas, anonimizadas e de alta resolução temporal e espacial.

Cabe destacar, entretanto, que intercorrências técnicas relevantes no início de 2025, associadas à instabilidade e paralisação dos sistemas LC-MS/MS, impactaram o planejamento amostral originalmente previsto para o ano, resultando no deslocamento parcial das campanhas e análises para o final de 2025 e início de 2026. Importa ressaltar que tais ajustes já estavam contemplados no Termo Aditivo de prorrogação do projeto e, portanto, não configuram atrasos à luz do cronograma vigente do TED, mas sim uma adequação necessária diante de interferências imprevistas, plenamente justificadas e já incorporadas ao plano de execução.

Mesmo diante desses desafios operacionais, o projeto manteve sua trajetória de avanços, em um contínuo processo de expansão, com esforços em andamento para a inclusão de novas regiões metropolitanas e para a finalização das estimativas populacionais referentes ao ciclo amostral de 2025. Um relatório parcial complementar será

disponibilizado assim que o tratamento completo dos dados, os cálculos de carga e consumo e a consolidação das informações operacionais forem concluídos.

Por fim, registra-se o reconhecimento à dedicação da equipe executora, dos estudantes e bolsistas envolvidos, bem como das instituições e colaboradores de todo o país que viabilizam a realização das campanhas em cada região investigada. Este quinto relatório anual reafirma que o Projeto CLOACINA permanece alinhado aos objetivos estratégicos pactuados, com elevado potencial de impacto contínuo na produção de evidências para a vigilância epidemiológica, a avaliação de políticas públicas e o fortalecimento das ações nacionais sobre drogas.

6 REFERÊNCIAS

[1] G.R. Sampaio, G.S. Lima, S.B. de Souza, D. de M. Soares, Use of psychoactive substances among university students from 2019 to 2020: A systematic review, Brain, Behav. Immun. - Heal. 35 (2024) 100724. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bbih.2024.100724.

[2] E. Guerra-Doce, Psychoactive Substances in Prehistoric Times: Examining the Archaeological Evidence, Time Mind. 8 (2015) 91–112. https://doi.org/10.1080/1751696X.2014.993244.

[3] R. DAVENPORT-HINES, The pursuit of oblivion: A social history of drugs, Phoenix, Londres, Reino Unido, 2012.

[4] R.S.R. Machado, V. Bonhomme, R. Soteras, A. Jeanty, L. Bouby, A. Evin, M.J. Fernandes Martins, S. Gonçalves, F. Antolín, A. Salavert, H.R. Oliveira, The origins and spread of the opium poppy (Papaver somniferum L.) revealed by genomics and seed morphometrics, Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci. 380 (2025) 20240198. https://doi.org/10.1098/rstb.2024.0198.

[5] A.S. Biondich, J.D. Joslin, Coca: The History and Medical Significance of an Ancient Andean Tradition, Emerg. Med. Int. 2016 (2016) 4048764. https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2016/4048764.

[6] S.E. Nadeau, J.K. Wu, R.A. Lawhern, Opioids and Chronic Pain: An Analytic Review of the Clinical Evidence, Front. Pain Res. 2 (2021) 721357. https://www.frontiersin.org/journals/pain-research/articles/10.3389/fpain.2021.721357.

[7] J.L.Q. Simei, J.D.R. Souza, J.F. Pedrazzi, F.S. Guimarães, A.C. Campos, A. Zuardi, J.E.C. Hallak, J.A.S. Crippa, Research and Clinical Practice Involving the Use of Cannabis Products, with Emphasis on Cannabidiol: A Narrative Review, Pharmaceuticals. 17 (2024) 1644. https://doi.org/10.3390/ph17121644.

[8] N.D. Volkow, M. Michaelides, R. Baler, The neuroscience of drug reward and addiction, Physiol. Rev. 99 (2019). https://doi.org/10.1152/physrev.00014.2018.

[9] R.S. Howard, P. Holmes, P. Dargan, Neurological aspects of drug misuse, Pract. Neurol. 25 (2025) 411 LP – 421. https://doi.org/10.1136/pn-2023-003796.

[10] UNODC, World Drug Report 2025, Vienna, 2025. https://www.unodc.org/unodc/data-and-analysis/world-drug-report-2025.html.

[11] J. O'Keeffe, Wastewater-based epidemiology: current uses and future opportunities as a public health surveillance tool, Environ. Heal. Rev. 64 (2021) 44–52. https://doi.org/10.5864/d2021-015.

[12] R. Bade, J.M. White, M. Ghetia, S. Adiraju, S. Adhikari, L. Bijlsma, T. Boogaerts, D.A. Burgard, S. Castiglioni, A. Celma, A. Chappell, A. Covaci, E.M. Driver, R.U. Halden, F. Hernandez, H.-J. Lee, A.L.N. van Nuijs, J.-E. Oh, M.A. Pineda Castro, N. Salgueiro-Gonzalez, B. Subedi, X.-T. Shao, V. Yargeau, E. Zuccato, C. Gerber, A Taste for New Psychoactive Substances: Wastewater Analysis Study of 10 Countries, Environ. Sci. Technol. Lett. 9 (2022) 57–63. https://doi.org/10.1021/acs.estlett.1c00807.

[13] Q. Zheng, B.J. Tscharke, C. Krapp, J.W. O'Brien, R.S. Mackie, J. Connor, J.F. Mueller, K. V Thomas, P.K. Thai, New approach for the measurement of long-term alcohol consumption trends: Application of wastewater-based epidemiology in an Australian regional city, Drug Alcohol Depend. 207 (2020) 107795. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.drugalcdep.2019.107795.

[14] F.F. Sodré, R.S. Feitosa, W.F. Jardim, A.O. Maldaner, Wastewater-based epidemiology of cocaine in the Brazilian Federal District: spatial distribution, weekly variation and sample preservation strategies, J. Braz. Chem. Soc. 29 (2018) 2287–2298. https://doi.org/10.21577/0103-5053.20180105.

[15] A.O. Maldaner, L.L. Schmidt, M.A.F. Locatelli, W.F. Jardim, F.F. Sodré, F. V. Almeida, C.E.B. Pereira, C.M. Silva, Estimating cocaine consumption in the brazilian federal district (FD) by sewage analysis, J. Braz. Chem. Soc. 23 (2012) 861–867. https://doi.org/10.1590/S0103-50532012000500011.

[16] K.M. da Silva, J.B. Quintana, I. González-Mariño, R. Rodil, A.D. Gallassi, L.C. Arantes, F.F. Sodré, Assessing cocaine use patterns in the Brazilian Capital by wastewater-based epidemiology, Int. J. Environ. Anal. Chem. 98 (2018) 1370–1387. https://doi.org/10.1080/03067319.2018.1554743.

[17] F.F. Sodré, D. de J.S. Freire, D.B. Alcântara, A.O. Maldaner, Understanding Illicit Drug Use Trends During the Carnival Holiday in the Brazilian Capital Through Wastewater Analysis, Front. Anal. Sci. 2 (2022) 930480. https://doi.org/10.3389/frans.2022.930480.

[18] C.S. Gomes, D. de J.S. Freire, H. de S.R.P. Moura, F.F. Sodré, A.O. Maldaner, F.A.S.D. Pinheiro, G.L.R. Ferreira, M.L. de O. Miranda, F.G. Murga, L.D.S. Ferreira, C.F.S. Aragão, Wastewater surveillance to assess cocaine and MDMA use trends during a major music festival in Brazil, Drug Test. Anal. (2024) Accepted.

[19] F.F. Sodré, G.B. Souza, R.S. Feitosa, C.E.B. Pereira, A.O. Maldaner, Illicit Drugs, Metabolites and Adulterants in Wastewater: Monitoring Community Drug Abuse in the Brazilian Federal District during the 2014 Soccer World Cup, J. Braz. Chem.

Relatório Parcial CLOACINA - Quinto (13736017) SEI 23106.106457/2019-62 / pg. 59

Soc. 28 (2017) 2146–2154. https://doi.org/10.21577/0103-5053.20170063.

[20] R. Bade, N. Rousis, S. Adhikari, C. Baduel, L. Bijlsma, E. Bizani, T. Boogaerts, D.A. Burgard, S. Castiglioni, A. Chappell, A. Covaci, E.M. Driver, F.F. Sodre, D. Fatta-Kassinos, A. Galani, C. Gerber, E. Gracia-Lor, E. Gracia-Marín, R.U. Halden, E. Heath, F. Hernandez, E. Jaunay, F.Y. Lai, H.-J. Lee, M. Laimou-Geraniou, J.-E. Oh, K. Olafsdottir, K. Phung, M.P. Castro, M. Psichoudaki, X. Shao, N. Salgueiro-Gonzalez, R.S. Feitosa, C.S. Gomes, B. Subedi, A.S.C. Löve, N. Thomaidis, D. Tran, A. van Nuijs, T. Verovšek, D. Wang, J.M. White, V. Yargeau, E. Zuccato, J.F. Mueller, Three years of wastewater surveillance for new psychoactive substances from 16 countries, Water Res. X. 19 (2023) 100179. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wroa.2023.100179.

[21] R. de F. Bueno, I.C.M. Claro, M.R. Augusto, A.F.A. Duran, L. de M.B. Camillo, A.D. Cabral, F.F. Sodré, C.C.S. Brandão, C.S. Vizzotto, R. Silveira, G. de Melo Mendes, A.F. Arruda, N.N. de Brito, B.A.S. Machado, G.R.M. Duarte, M. de L. Aguiar-Oliveira, Wastewater-based epidemiology: A Brazilian SARS-COV-2 surveillance experience, J. Environ. Chem. Eng. 10 (2022) 108298. https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108298.

[22] F.F. Sodré, C.C.S. Brandão, C.S. Vizzotto, E.A.O. Maldaner, WASTEWATER-BASED EPIDEMIOLOGY AS A STRATEGY for COMMUNITY MONITORING, MAPPING of HOTSPOTS and EARLY WARNING SYSTEMS of COVID-19., Quim. Nova. 43 (2020). https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170545.

[23] J. Rice, A.M. Kannan, E. Castrignanò, K. Jagadeesan, B. Kasprzyk-Hordern, Wastewater-based epidemiology combined with local prescription analysis as a tool for temporalmonitoring of drugs trends - A UK perspective, Sci. Total Environ. 735 (2020). https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139433.

[24] EUDA, Wastewater analysis and drugs: a European multi-city study, Lisbon, 2023. https://www.emcdda.europa.eu/publications/pods/waste-water-analysis_en.

[25] R. Bade, D. van Herwerden, N. Rousis, S. Adhikari, D. Allen, C. Baduel, L. Bijlsma, T. Boogaerts, D. Burgard, A. Chappell, E.M. Driver, F.F. Sodre, D. Fatta-Kassinos, E. Gracia-Lor, E. Gracia-Marín, R.U. Halden, E. Heath, E. Jaunay, A. Krotulski, F.Y. Lai, A.S.C. Löve, J.W. O'Brien, J.-E. Oh, D. Pasin, M.P. Castro, M. Psichoudaki, N. Salgueiro-Gonzalez, C.S. Gomes, B. Subedi, K. V Thomas, N. Thomaidis, D. Wang, V. Yargeau, S. Samanipour, J. Mueller, Workflow to facilitate the detection of new psychoactive substances and drugs of abuse in influent urban wastewater, J. Hazard. Mater. 469 (2024) 133955. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.133955.

[26] E. Zuccato, C. Chiabrando, S. Castiglioni, D. Calamari, R. Bagnati, S. Schiarea, R. Fanelli, Cocaine in surface waters: a new evidence-based tool to monitor community drug abuse, Environ. Heal. 4 (2005) 14. https://doi.org/10.1186/1476-069X-4-14.

[27] S. Castiglioni, L. Bijlsma, A. Covaci, E. Emke, F. Hernández, M. Reid, C. Ort, K. V. Thomas, A.L.N. Van Nuijs, P. De Voogt, E. Zuccato, Evaluation of Uncertainties Associated with the Determination of Community Drug Use through the

Measurement of Sewage Drug Biomarkers, Env. Sci Technol. 47 (2013) 1452–1460. https://doi.org/10.1021/es302722f.

[28] D.A. Devault, T. Néfau, H. Pascaline, S. Karolak, Y. Levi, First evaluation of illicit and licit drug consumption based on wastewater analysis in Fort de France urban area (Martinique, Caribbean), a transit area for drug smuggling, Sci. Total Environ. 490 (2014) 970–978. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.090.

[29] A.-K. McCall, R. Bade, J. Kinyua, F.Y. Lai, P.K. Thai, A. Covaci, L. Bijlsma, A.L.N. van Nuijs, C. Ort, Critical review on the stability of illicit drugs in sewers and wastewater samples, Water Res. 88 (2016) 933–947. https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.10.040.

[30] J.W. O'Brien, P.K. Thai, G. Eaglesham, C. Ort, A. Scheidegger, S. Carter, F.Y. Lai, J.F. Mueller, A Model to Estimate the Population Contributing to the Wastewater Using Samples Collected on Census Day, Environ. Sci. Technol. 48 (2014) 517–525. https://doi.org/10.1021/es403251g.

[31] P.M. Choi, B.J. Tscharke, E. Donner, J.W. O'Brien, S.C. Grant, S.L. Kaserzon, R. Mackie, E. O'Malley, N.D. Crosbie, K. V. Thomas, J.F. Mueller, Wastewater-based epidemiology biomarkers: Past, present and future, TrAC - Trends Anal. Chem. 105 (2018) 453–469. https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.06.004.

[32] Q. Da Zheng, Z. Wang, C.Y. Liu, J.H. Yan, W. Pei, Z. Wang, D.G. Wang, Applying a population model based on hydrochemical parameters in wastewater-based epidemiology, Sci. Total Environ. 657 (2019). https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.426.

[33] K. V Thomas, A. Amador, J.A. Baz-Lomba, M. Reid, Use of Mobile Device Data To Better Estimate Dynamic Population Size for Wastewater-Based Epidemiology, Environ. Sci. Technol. 51 (2017) 11363–11370. https://doi.org/10.1021/acs.est.7b02538.